

Magyar Tudomány

A FÉNY NEMZETKÖZI ÉVE
vendégszerkesztők: Kroó Norbert, Szabados László

Rudapithecus hungaricus
Száz éve hunyt el Széll Kálmán
A hazai versenyképesség
A nyelvi béke esélyei Ukrajnában

2015•10

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA FOLYÓIRATA. ALAPÍTÁS ÉVE: 1840
176. ÉVFOLYAM – 2015/10. SZÁM

Főszerkesztő:

CSÁNYI VILMOS

Felelős szerkesztő:

ELEK LÁSZLÓ

Olvasószerkesztő:

MAJOROS KLÁRA, SELEANU MAGDALÉNA

Szerkesztőbizottság:

BENCZE GYULA, BOZÓ LÁSZLÓ, CSÁSZÁR ÁKOS,
HAMZA GÁBOR, LUDASSY MÁRIA, SOLYMOSSI FRIGYES,
SPÁTH ANDRÁS, SZEGEDY-MASZÁK MIHÁLY, VAMOS TIBOR

A lapot készítették:

GIMES JÚLIA, HALMOS TAMÁS, HOLLÓ VIRÁG, MAKOVECZ BENJAMIN, MATSKÁSI ISTVÁN,
PERECZ LÁSZLÓ, SIPOS JÚLIA, SZABADOS LÁSZLÓ, F. TÓTH TIBOR, ZIMMERMANN JUDIT

Szerkesztőség:

1051 Budapest, Nádor utca 7. • Telefon/fax: 3179-524
matud@helka.iif.hu • www.matud.iif.hu

Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta Zrt. Hírlap Igazgatóság, Postacím: 1900 Budapest.

Előfizethető az ország bármely postáján, a hírlapot kézbesítőknél.

Megrendelhető: e-mailen: hirlapelofizetes@posta.hu • telefonon: 06-80/444-444

Előfizetési díj egy évre: 11 040 Ft

Terjeszti a Magyar Posta és alternatív terjesztők

Kapható az ország igényes könyvesboltjaiban

Nyomdai munkák: Inferno Reklám Kft.

Felelős vezető: Farkas Dóra

Megjelent: 11,4 (A/5) ív terjedelemben

HU ISSN 0025 0325

TARTALOM

A Fény Nemzetközi Éve

Vendégszerkesztők: Kroó Norbert, Szabados László

Kroó Norbert: Bevezető	1154
Gyürky György: Csillagok, az Univerzum fényforrásai	1155
Kiss L. László: Csillagászati képalkotás optikai interferometriával	1162
Kozma Péter – Janosov Milán – Petrik Péter: Optikai bioérzékelés	1171
Krasznahorkay Attila: Atommagfizika fénnel	1180
Dombi Péter – Csete Mária: Fény és nanorendszerek ultragyors kölcsönhatása	1191
Horváth Zoltán György: Mitől lézer a lézer?	1198
Csáji Attila: A leonardói álom. A teljesség megkísértése a művészet és tudomány sajátos összefonódása által a fényművészetben	1209
Honyek Gyula: Fizikaórák fényfoltjai – Tanári emlékmorzsák	1219

Tanulmány

Kordos László: Rudapithecus hungaricus: egy nemzetközi érték ötven éve	1226
Hamza Gábor: Száz évvel ezelőtt, 1915. augusztus 16-án hunyt el Széll Kálmán, a Magyar Tudományos Akadémia igazgatósági tagja	1236
Kovács Nikolett: A hazai versenyképesség fokozásának egyik lehetősége – együtt könnyebb	1242
Csernicskó István: A (nyelvi) béke esélyei Ukrajnában (2015. június)	1253

Tudós fórum

Kitüntetések	1261
--------------------	------

Megemlékezés

Poszler György (Percz László)	1265
-------------------------------------	------

<i>Kitekintés (Gimes Júlia)</i>	1268
---------------------------------------	------

Könyvszemle (Sipos Júlia)

Mit nyújt ma egy magyar város? (Pénzes Ferenc)	1272
Krízis és növekedés az Európai Unióban (Bod Péter Ákos)	1275
Levél a szerkesztőnek Kende Péter könyvéről (Gombár Csaba)	1277

A Fény Nemzetközi Éve

BEVEZETŐ

Króó Norbert

a Fény Nemzetközi Éve Programbizottság elnöke

Az Európai Fizikai Társulat (EPS) ráirányítva a figyelmet arra, hogy milyen fontos szerepet játszik a fény életünkben, megszerezte az UNESCO és az ENSZ támogatását, és segítségével 2015-öt a fény nemzetközi évének választották, világeseeménnyé emelve ezt a kezdeményezést.

Magyarország egyrészt az EPS-en keresztül csatlakozott az európai kezdeményezésekhez, másrészt itthon megrendezendő kiterjedt eseménysorral kívánja a hazai közvélemény figyelmét felhívni a fény tudományra, oktatásra, technológiára, művészetekre, tehát az élet minden területére kiható fontos szerepére. Fontos, hogy a tanulói ifjúság aktívan részt vehessen az eseményeken, hiszen a mai diákok lesznek a jövő kutatói, mérnökei, művészei.

Hazánk nemes hagyományokkal büszkélkedhet mind az optikai tudományok, mind a művészetek területén. Csak néhányat említve: a világkarriert befutott Petzvál-lencse a 19. század közepén született, a Magyar Optikai Művek pedig 1876-ban alakult meg. A Jánossy Lajos professzor által kezdett optikai kutatások a KFKI-ban világhírnévre jutottak, korán megszülettek a magyar lézerek, és az attosekundumos lézer (ELI-ALPS) első ötlete a világot egy évtizeddel megelőzve Magyarországon, Szegeden fogalmazódott meg.

Ezért is kötelességünk, hogy 2015-ben nagy figyelmet szenteljünk a fény tudományos, oktatási, technológiai, orvosi, továbbá művészeti alkalmazásainak, valamint annak, hogy ezeket a magyar közvélemény elé tárjuk az oktatás, a média és a szakmai fórumok csatornáin keresztül. A Magyar Tudományos Akadémia és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat időben felismerte ennek a tevékenységnek a fontosságát, és országos összefogás élére állva próbál megfelelni az ezzel kapcsolatos elvárásoknak.

A Fény Nemzetközi Évéhez kapcsolódó, az egész országra kiterjedő hazai események összehangolására az MTA kezdeményezésére megalakult a Fény Nemzetközi Éve Programbizottság, amelyben a tudomány, az oktatás, a művészet és a programhoz kapcsolódó szervezetek képviselői vesznek részt.

Ezért természetes, hogy az MTA folyóirata, a *Magyar Tudomány* is tematikus számot jelentet meg, melyben néhány, a tudományos programokhoz kapcsolható cikket közlünk a csillagásztól az atomok világáig terjedő spektrumból, és bepillantást engedünk a magyarországi fényművészet kulisszái mögé is. A paletta természetesen sokkal színesebb, ezekről a média más nyomtatott és elektronikus fórumain bőven szerezhető információ.

CSILLAGOK, AZ UNIVERZUM FÉNYFORRÁSAI

Gyürky György

az MTA doktora, tudományos tanácsadó,
MTA Atomki
gyurky@atomki.mta.hu

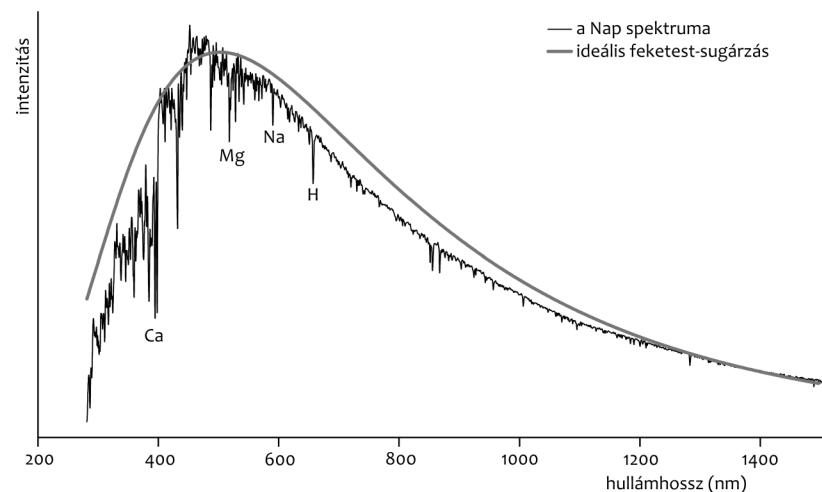
Ha megkérnénk az utca emberét, hogy nevezze meg világunk legjelentősebb fényforrását, szinte biztosra vehetjük, hogy a Napot említené elsőként. „De mi a helyzet éjszaka?” – próbálhatnánk keresztkérdésünkkel sarokba szorítani, de ekkor valószínűleg a Holdat (ami a Nap fényét veri vissza), illetve a csillagokat említené, és csak ezután következnenek a mesterséges fényforrások. Mivel Napunk is csillag, bizonyosan kijelenthetjük tehát, amit a cím is állít, hogy a csillagok az univerzum fényforrásai. 2015-ben, a Fény Nemzetközi Évében megjelenő jelen cikkgyűjtemény tehát nem lehet teljes egy csillagoknak szentelt írás nélkül. Ennek a cikknek a szerzője nem csillagász, hanem a csillagok belsejében zajló magreakciókat kutató tudománnyal, nukleáris asztrofizikával foglalkozik. Ezért a csillagok fényét inkább annak kiváltó okai, a háttérben zajló folyamatok szemszögéből vizsgáljuk. Magát a fényt is a hétköznapiánál tágabban értelmezzük, amint sorba veszünk különböző típusú csillagokat, illetve az általuk kibocsátott sugárzást.

A Nap látható fénye

Kezdjük utazásunkat legfontosabb csillagunkkal, a Nappal! Mit is értünk pontosan napfény alatt? Az 1. ábrán a Nap fényének

spektruma látható, azaz a földet elérő fény mint elektromágneses sugárzás intenzitása a hullámhossz függvényében. Mint látható, az intenzitás eloszlása egy határozott maximumot mutat a 450–500 nm-es hullámhosszknál. Szintén látható az ábrán sima lefutású görbével ábrázolva egy 5800 K hőmérsékletű fekete test mint hőmérsékleti sugárzó színepe. A két görbe igen hasonló jellege arra enged következtetni, hogy a Nap fénye első közelítésben hőmérsékleti sugárzás, mégpedig egy körülbelül 5800 K hőmérsékletű test sugárzása. Szembetűnő, hogy a sugárzás spektrumának maximuma igen közel esik szemünk érzékenységeinek maximumához. Ez nyilván nem véletlen: az evolúció az olyan szem kialakulásának kedvezett, amely a természetes fényforrás lehetőségeit minél jobban ki tudja használni.

De miből áll a Nap, és miért izzik ilyen forró? Ezekre a kérdésekre szintén a sugárzás spektruma, illetve annak a feketetest-sugárzástól való eltérése adja az elsődleges információt. A spektrumban található éles mélyedések, a színeképvonalak a csillag anyagi összetételéről tanúskodnak (a legerősebbeket felfedezőjükről Fraunhofer-féle vonalaknak is nevezzük). A csillag fényéből a légkörében lévő gázok a rájuk jellemző hullámhosszakon



1. ábra • A napfény spektruma a Föld légkörén kívül, valamint egy 5800 K hőmérsékletű feketetest-sugárzó spektruma. Néhány elnyelési vonalnál az azt okozó kémiai elem vegyjele is fel van tüntetve a teljesség igénye nélkül.

nyelik el a fényt. Ezek az abszorpciós színek-vonalak tehát a csillag anyagának összetételéről árulkodnak. Az 1. ábrán látható néhány, a látható fény tartományában vagy annak közelében található színekpvonal, illetve az azokat előidéző kémiai elem. A spektrum részletesebb elemzéséből tudjuk, hogy a Nap főként hidrogénből és héliumból álló izzó gázgömb (pontosabban ionizált állapotú plazmagömb), nehezebb kémiai elemek csillagunk tömegének csak kevesebb mint 2%-át teszik ki.

A magas hőmérséklethez és a folyamatosan kisugárzott óriási mennyiségű energiához valamilyen energiaforrásra van szükség. Az energiaforrás kérdése egészen a 20. századig a tudomány egyik legjelentősebb megoldatlan problémája volt. A modern fizika kialakulása, a relativitáselmélet és a kvantummechanika forradalma volt szükséges a titok feltárásához. A titok pedig a hidrogénfúzió, amihez azonban a fizika forradalmán kívül a Nap

anyagi összetételének, tehát a bőségesen rendelkezésre álló hidrogénnek a megismerése is elengedhetetlenül szükséges volt. Ez utóbbi pedig a Nap fényének megfigyeléséből áll rendelkezésünkre.

A hidrogénfúzió tárgyalása nem témája jelen írásnak. A *Magyar Tudomány* hasábjain jelent már meg ezzel foglalkozó írás (Gyürky, 2008). Mivel azonban nemcsak a Nap, hanem az egész univerzum talán legfontosabb energiaforrásáról van szó, szenteljünk neki egy bekezdést!

Egy csillag úgy keletkezik, hogy egy megfelelően nagy tömegű gázfelhő a saját tömegvonzása hatására zsugorodni kezd. Eközben a gravitációs helyzeti energiája részben hővé alakul, a születő csillag magja felmelegszik. Ha a hőmérséklet elegendően magas (nagyságrendileg 10 millió K) értéket ér el, a csillagban lévő hidrogénatommagok, azaz a protonok hőmozgása legyőzi a közöttük ható elektrosztatikus taszítást, és reakcióba lépnek

egymással. Ehhez segítségül hívják a kvantummechanikai alagúteffektust, valamint a gyenge kölcsönhatást, amelynek révén az egyik proton neutronná alakul, és a másik protonnal egyesülve deutériumot hoz létre. További fúziós folyamatokban a keletkező deutériumból hélium keletkezik, tehát összességében a hidrogénfúzió négy proton héliumatommaggá való egyesülését jelenti. Ebben a folyamatban hatalmas mennyiségű energia szabadul fel, amely mintegy milliószorosan meghaladja például a kémiai folyamatokban felszabaduló, számunkra megszokott energiát. Ez az energiaforrás felelős tehát a csillag működéséért: miután a csillag magja a gravitációs energia révén felmelegedett, a fúziós energia stabilizálja és tartja fenn a magas hőmérsékletet. A Nap magja tehát körülbelül 15 millió K hőmérsékletű, az ott termelt hő lassan jut ki a felszínére, ami így egyensúlyban mintegy 5800 K hőmérsékletű, és a magban termelt fúziós energiát hőmérsékleti sugárzás formájában sugározza ki. A fúzióban szerepet játszó alagúteffektus és gyenge kölcsönhatás miatt a folyamat igen lassan megy végbe, ezért a Nap mintegy tízmilliárd évig képes fenntartani működését többé-kevésbé változatlan formában.

A távoli csillagok látható fénye

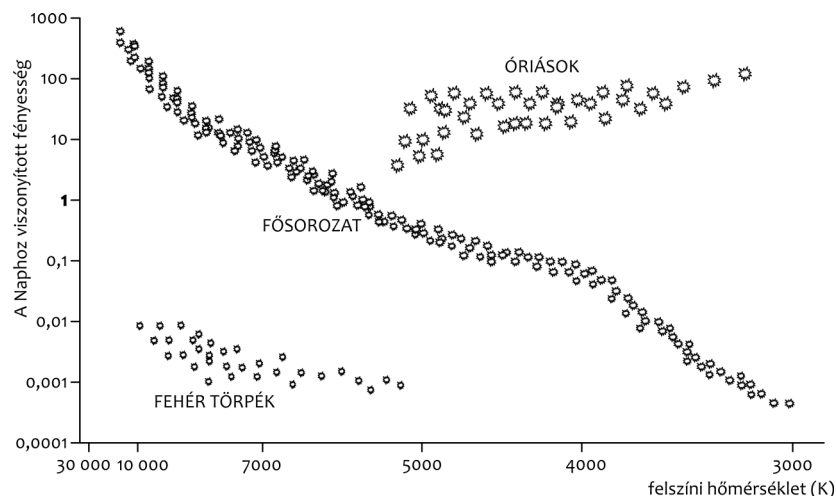
A távcsövek és a spektrometria fejlődésével a távoli csillagok fényét is hasonló vizsgálatnak vethetjük alá, mint a Nap fényét. Ezeknek a méréseknek az alapvető tapasztalata az, hogy a Naphoz hasonlóan gyakorlatilag minden csillag hőmérsékleti sugárzónak tekinthető. Ez az egyik bizonyítéka annak, hogy a Nap is csak egyike a Világegyetemben található, felfoghatatlanul nagyszámú csillagnak.

A csillagok spektrumában a színekpvonalak vizsgálatával a tőlünk elérhetetlen távol-

ságban lévő objektumok anyagi összetételét is kutathatjuk. Ennek az eredménye az, hogy a Nap anyagi összetételét tekintve sem különleges: az egész univerzumra jellemző, hogy főként hidrogénből és héliumból áll. Az apró különbségek, a nehezebb elemek eltérő gyakorisága azonban olyan gazdag információforrás a csillagászok számára, amelynek alapján igen sok különböző tulajdonságú, eltérő fejlődési utat bejáró és más végső sorsú csillagtípust sikerült azonosítani.

A csillagok többsége mégis meglepően hasonló egymáshoz. A spektrum alakjának vizsgálatával meg tudjuk mondani egy csillag felszíni hőmérsékletét. A teljes sugárzás intenzitásának mérésével pedig – a csillag távolságának ismeretében – meg tudjuk adni a csillag luminozitását, azaz a teljes kibocsátott energiáját. A két paramétert együtt vizsgálva érdekes összefüggést találunk. Ezt szemlélteti sematikusan a 2. ábra, a csillagászat talán leghíresebb és legfontosabb diagramja, az ún. Hertzsprung–Russell-diagram. A vízszintes tengelyen a csillag felszíni hőmérséklete, míg a függőleges tengelyen az abszolút fényessége (luminozitása) látható. Szembetűnő, hogy a csillagok korántsem véletlenszerűen elszórva helyezkednek el a diagramon, hanem határozott csoportokba rendeződnek. Az ismert csillagok mintegy 90%-a egy keskeny sáv, az ún. fősorozat mentén található. A sáv fölött, illetve alatt van a fényes óriások és a halvány fehér törpék tartománya.

Ennek a csoportosulásnak az oka a csillagok működési mechanizmusában keresendő. A részletesebb vizsgálatok azt mutatják, hogy a fősorozati csillagokat, tehát a csillagok döntő többségét ugyanaz a hidrogénfúzió működteti, mint a mi Napunkat. Az, hogy egy csillag pontosan hol található a fősorozaton, a csillag tömegétől és korától függ.



2. ábra • A csillagok felszíni hőmérséklete és fényessége közötti kapcsolatot teremtő Hertzsprung–Russell-diagram. Az ábra csak szemléltető jellegű, nem szerepelnek rajta például csillagok bizonyos csoportjai. A szokásnak megfelelően a hőmérsékleti skála jobbról balra növekszik.

Ha egy csillag elhasználja hidrogén-üzemanyagát, vagy a fúzió más módjára tér át, lassan elhagyja a fősort. A csillag tömegétől függően vörös óriássá válik, majd eltérő életutakat követve vagy szupernóvaként felrobban, vagy esetleg a fehér törpék régiójába kerül, ahol sok milliárd évig hűl és halványul, míg végül el nem tűnik a szemünk elől.

Lássuk a nem látható fényt!

Mindössze a látható fény segítségével a Nap és a csillagok működésének és összetételének számos titkát sikerült felkutatnunk. Ám további, igen gazdag információforrást nyerhetünk, ha az elektromágneses színek látható fényen kívüli részét is hadra fogjuk.

A látható fény csak elenyészően keskeny szelete az elektromágneses sugárzás spektrumának, amely a rövid hullámhosszaknál (nagy frekvenciáknál) található gammasugárzástól a hosszú hullámhosszú rádióhullámokig terjed. Ezt szemlélteti a 3. ábra, ahol a hullám-

hossz függvényében az elektromágneses spektrum különböző tartományai vannak feltüntetve. A modern csillagászat szinte minden tartományt kihasznál a csillagok vizsgálatára, s az egyes részek vizsgálata már-már külön tudományágnak tekinthető a csillagászatban belül. Az írás hátralévő részében három területről, a rádióhullámok, illetve a röntgen- és gammasugárzás észleléséről, illetve a belőlük levonható következtetésekről lesz szó.

Ez a három tartomány elég messze esik a látható fény hullámhosszaitól. Így a Naphoz hasonló csillagok spektrumában ezeknek a tartományoknak az intenzitása a hőmérsékleti sugárzásból kifolyólag elhanyagolható. Ha ilyen sugárzást észlelünk tehát csillagászati objektumokból, akkor azok kibocsátásáért valamilyen különleges mechanizmus lehet a felelős, nem pedig egy néhány ezer fokok felszíni hőmérsékletű test feketetest-sugárzása. Számos érdekes és fontos asztrofizikai jelenségre bukkantak rá ily módon.

Rádióhullámok

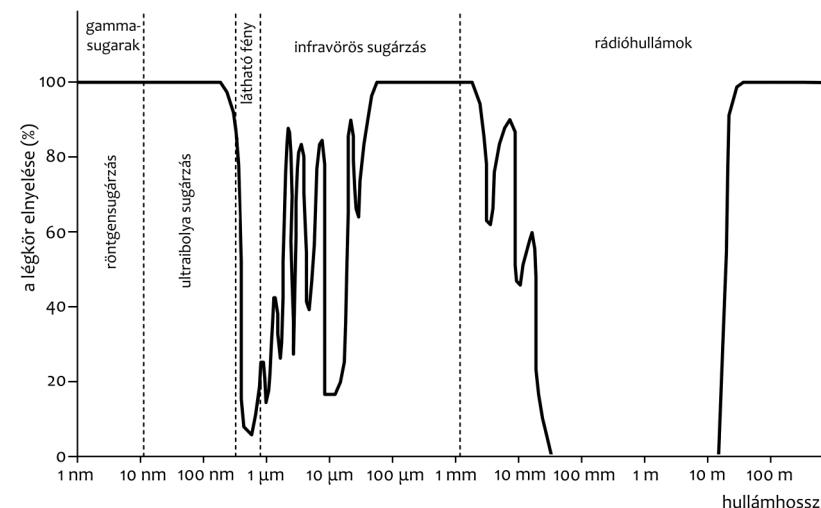
A 3. ábra azt is szemlélteti, hogy a földi légkör mely hullámhossztartományokban engedi át az elektromágneses sugárzást. Azt tapasztaljuk, hogy a látható fényen, illetve a nem túl helyesen hősugárzásként is ismert infravörös sugárzáson kívül a légkörünk csak a rádióhullámok egy részét engedi át. Így egy földi távcsővel csak ezekben a tartományokban tudunk csillagászati megfigyeléseket végezni.

Az űrből jövő rádióhullámokat már az 1930-as években, a rádiótechnika fejlődése során felfedezték. Mára számos különböző objektumot azonosítottak, amelyek rádióhullámokat bocsátanak ki. Ezek közül most csak néhány érdekesebbet említünk meg. Rádióhullámok asztrofizikai körülmények között leginkább akkor keletkeznek, ha nagy energiájú töltött részecskék haladnak mágneses térben, illetve ütköznek anyaggal. Számos asztrofizikai folyamatban keletkeznek ilyen nagyenergiás töltött részecskék, ame-

lyekről így a rádióhullámok detektálásával szerezhetünk információt. Ilyen égi rádióforrást fedeztek fel a galaxisunk középpontja körül, ahol a jelenlegi elméletek szerint egy szupernagy tömegű (a Nap tömegének néhány milliószorosát tartalmazó) fekete lyukba hulló anyag kelt rádióhullámokat.

Nagy tömegű csillagok életének végső eseménye a szupernóva-robbanás. Az ilyen robbanások után visszamaradó objektumok jelentős rádióhullám-források lehetnek. A szupernóva felvillanása után bizonyos esetekben gyorsan forgó neutroncsillag, pulzár keletkezik. A pulzár a mágneses tengelye mentén intenzív részecskenyalábot bocsát ki, amely szinkrotronsugárzást hoz létre részben a rádióhullámok tartományában. Ilyen objektumok felfedezése a rádióhullámok megfigyelésével vált lehetővé.

Az igen távoli aktív galaxismagok, a kvazárok felfedezését is a rádióhullámok észlelése tette lehetővé. Ezekben az objektumokban valószínűleg szintén a nagyenergiás részecskék



3. ábra • Az elektromágneses spektrum a röntgensugaraktól a rádióhullámokig, illetve a földi légkör elnyelőképessége

által keltett szinkrotronsugárzás felelős a rádióhullámok kibocsátásáért.

Röntgensugárzás

Térjünk most át az elektromágneses spektrum rövid hullámhosszú, azaz nagyenergiás oldalára (Szatmáry et al., 2002)! Ezeket a sugárzásokat a légkörünk hatékonyan elnyeli, így a föld felszínéről nem tudunk megfigyelni ilyen sugárzást kibocsátó égi objektumokat. A világűrben érkező röntgensugárzás első észlelései ezért magaslégköri rakéta- vagy ballonkísérletekhez köthetők, de a röntgencsillagászat gyors fejlődését az űrbe, műholdakra telepített röntgentávcsövek tették lehetővé.

Ahhoz, hogy egy test hőmérsékleti sugárzóként a röntgentartományban bocsásson ki elektromágneses sugárzást, igen magas hőmérsékletre van szükség. Ez a hőmérséklet-tartomány eléri az 1–10 millió K értéket, ami több nagyságrenddel magasabb, mint a Nap felszíni hőmérséklete. (Emlékezzünk, hogy bár a Nap magja mintegy 15 millió K hőmérsékletű, a kívülről látható felszínén „csupán” mintegy 5800 K a hőmérséklet.) Vannak azonban csillagászati jelenségek, amelyek során ilyen magas hőmérsékletekkel is találkozhatunk egy objektum felszínén, legtöbbször abban az esetben, ha egy kettős csillagrendszer tagjai között anyag áramlik át. Ha például egy fősorozati csillag anyaga egy fehér törpe vagy neutroncsillag felszínére áramlik, akkor a mély gravitációs potenciálgödörbe hulló anyag felmelegedhet a kívánt hőmérsékletre, s így röntgensugárzást bocsáthat ki. Néha ez a folyamat robbanásszerűen megy végbe, amit röntgenkitörések formájában észlelhetünk.

Számos más folyamat is vezethet röntgensugárzás kibocsátásához különböző asztrofizikai helyszíneken és eseményekben. Észlelhetünk röntgensugárzást a fent említett kvazá-

rokból, szupernóva-maradványokból, valamint fekete lyukakba hulló anyag esetén is. Ezek részletezése túlmutat cikkünk keretein.

Gammasugárzás

Ha még tovább megyünk az elektromágneses spektrumban a rövidebb hullámhosszak irányába, elérünk a gammasugarakig. Mivel a légkör ezt a nagyenergiás sugárzást is elnyeli, megfigyelése szintén csak magaslégköri vagy légkörön kívüli berendezésekkel lehetséges.

A gammasugárzás olyan nagy energiájú, hogy forrása nem lehet hőmérsékleti sugárzás. Ehhez olyan nagy hőmérsékletre lenne szükség, amekkora nem fordul elő csillagászati objektumokban, legalábbis nem olyan körülmények között, ahonnan a sugárzás közvetlenül eljuthat hozzánk. Több más módon is keletkezhet azonban gammasugárzás, ezek között most egyet tárgyalunk részletesebben.

Nagy energiáján kívül a gammasugárzást úgy is definiáljuk, illetve úgy különböztetjük meg a röntgensugárzástól, hogy gammasugarak atommagok energiaszintjei közötti sugárzásos átmenetekben keletkeznek (míg a röntgensugarakat a belső atomi héjakon található elektronok átmenetei során kapjuk). Ilyen jelenség játszódik le például radioaktív magok bomlását követően. Azt már láttuk a cikkünk elején, hogy a fősorozati csillagok hidrogénből héliumot állítanak elő. Az asztrofizika iránt érdeklődő olvasónak azonban valószínűleg az sem lehet újdonság, hogy az összes nehezebb kémiai elem, ami világunkat felépíti, szintén csillagokban keletkezik. Sok különböző folyamat játszik szerepet az elemszintézisben, és számos olyan folyamat is van, amelyben radioaktív izotópok is keletkeznek. Ha ezek az izotópok elég hosszú élettartamúak ahhoz, hogy még elbomlásuk előtt kijussanak az őket létrehozó csillagból, akkor ké-

sőbbi bomlásukat az azt követő gammasugárzás detektálásával megfigyelhetjük.

Számos radioaktív izotóp jelenlétét sikerült ily módon kimutatni a csillagközi térben. Mivel ezek között vannak viszonylag rövid felezési idejűek is, bomlásuk közvetlen bizonyítékot szolgáltat arra, hogy az elemszintézis jelenleg is aktívan zajlik világunkban. Sikerült például kimutatni a kobalt 56-os tömegszámú izotópjának jelenlétét szupernóva-robbanásokat követően. Nagyrészt ez a 77 nap felezési idővel bomló izotóp felelős a szupernóvának a robbanás utáni hosszan elnyúló nagy fényességéért. A közel egymillió éves felezési idejű, 26-os tömegszámú alumíniumizotóp galaxisbeli eloszlását pedig nagy pontossággal fel tudták térképezni a gammasugárzása segítségével, s így következtetni tudtak csillagbéli keletkezésére. És még számos izotópot említhetnénk, amelyek jelenlétét sikeresen megfigyelték gammacsillagászati űrszondákkal.

A radioaktív bomláson kívül más folyamatok is eredményeznek gammasugárzást, például a nagyenergiás atommagok által kiváltott magreakciók. Említhetjük a naptevékenység egyik formáját, az úgynevezett fler jelenséget is, amelyből gamma- és röntgensugárzás is származik. A Nap tehát a hőmérsékleti sugárzásán kívül az elektromágneses spektrum távoli tartományaiban is „lesüt ránk”, bár légkörünk megakadályozza a nagyenergiás sugárzás felszínre jutását.

IRODALOM

- Cserepes László – Petrovay Kristóf (2002): *Kozmikus fizika*. Egyetemi jegyzet. ELTE, Budapest • <http://mek.oszk.hu/00500/00559/>
Gyürky György (2008): Csillagok és atommagok. *Magyar Tudomány*. 4. 486–493. • <http://www.matud.iif.hu/o8ap1/i1.html>
Kereszturi Ákos – Tepliczky István (1996): Csillagászati tankönyv kezdőknek és haladóknak. Magyar

Zárszó

Jelen írás célja, hogy megmutassa: a csillagok tágabb értelemben vett „fénye” milyen gazdag információforrást jelent a világunk működésének megértése szempontjából. Minden, a földünkön kívüli világra vonatkozó tudásunk valamilyen, a Földet elérő sugárzás mérésével és megértésével vált elérhetővé. Néhány oldal terjedelemben lehetetlen még csak nagy vonalakban is teljes képet adni az elérhető információk köréről. Itt csak az elektromágneses spektrum különböző tartományaival foglalkoztunk, azokkal is csak érintőlegesen. Pedig más sugárzások is vannak. Nem említettük az űsrobbanás egyik bizonyítékát jelentő kozmikus mikrohullámú háttérsugárzást (ami elektromágneses sugárzás ugyan, de nem csillagokból származik). Nem szóltunk a neutrínókról, amik a Nap működéséről és a szupernóvákról szolgáltatnak fontos adatokat. Szintén nem szóltunk a kozmikus sugárzás nagyenergiás részecskéiről vagy a még felfedezésre váró gravitációs hullámokról. Mind ez a „fény” kellett ahhoz, hogy megszűnjön a sötétség, azaz megértsük világunk működését, és ez fog a jövőben is segíteni minket, hogy megértsük, amit még nem tudunk.

Kulcsszavak: *csillag, fény, rádióhullám, röntgensugárzás, gammasugárzás, magreakciók, spektrum, nukleáris asztrofizika*

- Csillagászati Egyesület, Budapest • <http://mek.oszk.hu/00500/00556/00556.htm>
Lovas István (2000): *Asztrofizika*. Egyetemi jegyzet. KLTE, Debrecen • <http://www.phys.unideb.hu/jegyzetek/asfiz.pdf>
Szatmáry Károly – Kiss L. – Mészáros Sz. – Vinkó J. (2002): Röntgen- és gammacsillagászat. *Meteor csillagászati évkönyv*. • <http://astro.u-szeged.hu/ismet/rontgam/rontgam.html>

CSILLAGÁSZATI KÉPALKOTÁS OPTIKAI INTERFEROMETRIÁVAL

Kiss L. László

az MTA levelező tagja, kutatóprofesszor,
MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet
kiss.laszlo@csfk.mta.hu

Az interferometriai képalkotást optikai hullámhosszakon rendkívül megnehezítik a kapcsolódó mérnöki feladatok kihívásai. Nem véletlen, hogy az optikai csillagászatban csak az új évezred első éveiben váltak alkalmazhatóvá a rádiócsillagászatban már több mint fél évszázada alkalmazott módszerek. Az elmúlt tíz évben fantasztikus eredmények születtek, amelyekre alapozva a következő évtized fejlesztési irányai is kitűzhetővé váltak. Az amerikai CHARA- és a chilei ESO VLTI-távcsőrendszerekkel felbonthatóvá váltak csillagok felszíni részletei, a körülöttük található por- és gázkorongok szerkezete, a bolygókeletkezés nyomjelzői.

A csillagászati képalkotás korlátai

A csillagászat alapvető megfigyelőeszköze a távcső, amivel a fényt összegyűjtjük és elemezzük, illetve képet alkotunk az égitestekről. Az elektromágneses színek különböző tartományokban más-más technológiával készülnek a teleszkópok, ennek megfelelően a képalkotás módszerei is nagyon változatosak. A hétköznapi tapasztalatainkkal legkönnyebben megérthető eljárásokat a látható fény tartományában működő optikai távcsövek biztosítják: miként egy lencsével fókuszálhatjuk a fejtetőre állított világot egy papírlapra,

úgy a csillagászatban használt távcsövek főtükréi is előállítják az optikai tengely irányába eső égitestek közvetlen képét a fókuszban, és egy odahelyezett detektor rögzíti a fényesség hely szerinti eloszlását, magyarul a képet. Természetesen a valóságban a konkrét műszerfelépítés ennél sokkal bonyolultabb is lehet, főleg mivel a fényt manipulálhatjuk a detektorig jutás közben (például az elsődleges képet optikai segédeszközökkel kivisszük a tükrök fókuszpontjának közeléből, vagy szűrjük a fényt, esetleg nyalábosztóval különböző irányokba eltérítjük az eltérő színeket), ám az alapelveket ez nem érinti.

Az 1980-as években jelentek meg szélesebb körben a digitális csillagászati detektorok, amelyek a rákövetkező évtizedben teljesen kiszorították a korábban egyeduralgkodó fotografikus technikát. A mai CCD-kamerák akár 90% feletti csúcserzékenységű, nagyon precíz műszerek, amelyek számítógépek számára azonnal kiértékelhető digitális képet szolgáltatnak a távcsövek képsíkjából. A szilícium-alapú szenzorokból hatalmas mozaikokat lehet építeni, ezért a széles látószögű csillagászati fényképezésben soha nem látott távlatok nyíltak meg: például a teljes égboltra kiterjedő észlelési programok új lendülettel mérik fel a csillagos égbolt változásait – mozgó ob-

jektumok (kisbolygók és üstökösök) mellett felfedezve az időben változó Univerzum jelenségeit.

A képskála másik végén találjuk a nagy felbontást igénylő finom részleteket, amelyekről a közvetlen képalkotás nagyon komoly feladat. A fény hullámtermészetéből adódik, hogy egy távcső nagyítását/képskáláját nem lehet minden határon túl növelni: a végtelenben található pont képe nem pont, hanem a távcső belépő nyílásán kialakuló fényelhajlás miatt jellegzetes szerkezetű diffrakciós kép, közepén egy véges kiterjedésű folttal, körülötte pedig a diffrakciós mintázat gyűrűivel. Mivel a folt mérete a hullámhossz (λ) és a távcső átmérőjének (D) arányával skálázódik, a távcsövek elméleti felbontását pontosan a λ/D arány határozza meg. Például egy 1 m-es tükrőátmérőjű teleszkóppal 550 nm-es hullámhosszon a diffrakcióhatárolt felbontás kb. 0,1 ívmásodperc, ami megegyezik egy 2 m-es távcső elméleti felbontási határával 1,1 mikrométeres közeli-infravörös hullámhosszon. Összehasonlításként: egy 300 fényévre levő fiatal bolygórendszerben 0,1 ívmásodperc 10 csillagászati egységnek, azaz nagyjából a Nap-Szaturnusz távolságának felel meg, tehát a részletesebb megértéshez mindenképpen nagyságrendekkel jobb felbontás szükséges. A megoldás formálisan egyszerű: $1/D$ csökkenthető a rövidebb hullámhosszak, illetve a nagyobb távcsőátmérők felé haladva.

A valóság azonban mindig bonyolultabb. A földi légkör turbulenciái hagyományos képalkotási módszerekkel áthághatatlan korlátot állítanak az ideálisan éles képalkotás elé. Az időben és térben folyamatosan változó törésmutatójú atmoszféra eltéríti a végtelenből érkező fénysugarakat, ezért a csillagok képe a legtöbb távcsőben jelentősen nagyobb koronggá kenődik szét, mint a diffrakciós kép

elhajlási korongja. A világ legjobb asztrolí-májú magashegyi obszervatóriumai sem lesz soha kisebb egy csillag képe 0,3–1,0 ívmásodpercnél, és hiába van 8–10 m-es tükrőátmérőjű óriásteleszkópunk, a légköri nyugodtság korlátait csak speciális technikákkal lehet átlépni (például lézeres műcsillaggal követhetjük a légkör torzító hatásait, majd az optikai rendszer saját torzításait úgy módosítjuk, hogy éppen kompenzálják a légköri hatásokat – ez az ún. adaptív optikai képalkotás).

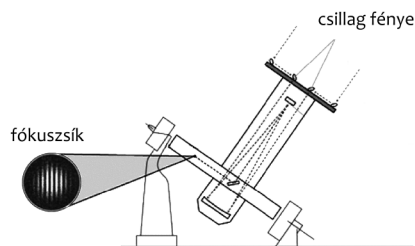
A legnagyobb felbontást nyújtó technika az interferometria, amelynek alkalmazásakor az egymástól nagyobb távolságokra lévő teleszkópok fényét egyesítjük, a kialakuló interferenciaképből pedig olyan felbontással reprodukáljuk a forrás finomszerkezetét, amilyenre külön-külön egyik távcső sem lenne képes. A nagyságrendek érzékeltetésére: amíg a klasszikus képrögzítéssel az ívmásodperces részletek örökíthetők meg, addig interferometriával három nagyságrenddel kisebb szögekről beszélünk, ahol a mértékegység az ezred ívmásodperc (mas = milliarcsecond).

Fizikai alapok dióhéjban

Rendkívül leegyszerűsítve: a csillagászati interferometria a hagyományos távcsövekkel fel nem bontható, kicsiny szögmetretű objektumok részleteit meghatározhatóvá tevő mérés-technika, amelynek alapjait a fény hullámtermészete adja meg. A különböző utat bejárt elektromágneses hullámok kölcsönös erősítésén és gyengítésén alapuló elv (az amplitúdó- és fázisinterferometria) a szó szoros értelmében évszázadok óta ismert, hiszen a kezdetek Albert A. Michelson és Hippolyte Fizeau 19. századi munkásságára vezethetők vissza, de a látható és a közeli-infravörös fény tartományában képalkotásra is használható megva-

lósítása csak a legutóbbi években vált lehetővé. Rádiócsillagászok már bő fél évszázada használják a fizikai Nobel-díjjal jutalmazott apertúraszintézis módszerét, amelynek lényege, hogy egymástól nagy távolságra elhelyezett rádiótávcsövek jeleit kombinálva (interferáltatva) annyival jobb szögfelbontást érhetünk el, mintha egyetlen olyan nagy rádiótávcsövet használtunk volna, amelynek átmérője a jeleket vevő távcsövek egymástól legmesszebbre eső párjának távolsága. A kései optikai megvalósítás kulcskifejezése a jelek kombinálása: természetes fényforrások sikeres interferenciájához a vizsgált hullámhossz töredékének pontosságával kell ismernünk és korrigálnunk az egyedi távcsövek között fellépő fényút-különbséget, ami a centiméteres–méteres hullámhosszú rádiótávcsöveknél sokkal kisebb mérnöki feladat, mint a nagyjából mikrométeres hullámhosszú optikai és közeli infravörös tartományban működő teleszkópoknál.

A legegyszerűbb csillagászati interferométerben két, egymástól adott távolságon (ún. bázison) levő tükör fényét egyesítjük; a Michelson-féle sztelláris interferométert legelőször a kaliforniai Wilson-hegyi Observatóriumban építették meg, amikor a 100 hüvelykes (2,54 m-es) Hooker-teleszkóppal 1920 decemberében Michelson és *Francis Pease* megmérték a Betelgeuze látszó szögátmérőjét. A mérés elve az 1. ábrán látható: az egymástól több mint 6 m-re levő két kis tükör fénynyalábait a 100 hüvelykes tükör egyesíti, ennek eredményeként a fókusz síkban nem egy Airy-koronghoz hasonló kép alakul ki, hanem jól definiált csíkrendszer, amelyben a csíkok mérete és lefutása hordozza az információt a fényforrás szögátmérőjéről (pontosabban a felületi fényességének eloszlásáról, amelynek egyik paramétere az átmérő).



1. ábra • A Michelson-féle sztelláris interferométer sematikus ábrája, illetve a fókusz síkban kialakuló csíkrendszer képe

Mivel a két tükör égi vetülete kitűz egy adott irányt, ezzel a technikával csak az abba az irányba eső átmérő mérhető meg. Egy teljes éjszaka alatt a Föld forgása a két tükör égi vetületét is elfordítja, azaz folyamatosan mérve az interferenciakép változásait az átmérő mérését több pozíciószögre is kiterjeszthetjük, ez azonban nagyon korlátozott, és még messze van az optikai apertúraszintézistől. Valódi interferometrikus képalkotásra több elemből álló és egy egész síkot kifesztítő tüköregyüttesre van szükségünk, amelyben a páronként egyesített fénynyalábok interferenciájával más-más égi irányokban mintavételezzük az észlelt égitest átmérőjét, illetve fényességeloszlását. A finom felületi részletek a tükörhármasok, -négyesek interferált jeleiből meghatározható fázisadatokból reprodukálhatók. (Fizikus olvasók számára: az interferométerrel valójában a kép Fourier-transzformáltjának amplitúdóit és fázisait mérjük meg, amelyekből egy inverz transzformáció adja vissza az eredeti képet.)

Jelenleg két igazán nagy optikai interferometriai képalkotó műszeregyüttes működik a világon: a CHARA hat darab 1 m-es tükrös teleszkóp fényét kombinálja, az Európai Déli Observatórium VLTI műszere pedig négy

8,2 m-es és négy 1,8 m-es tükrőátmérőjű távcső nyalábjaival dolgozik. Mielőtt bemutatjuk ezeket az opto-elektromechanikai remekműveket, megemlíti az interferenciakép rögzítésének nehézségeit. Emlékezzünk arra, hogy a természetes fényforrások interferenciájához a különböző távcsövek fényút-különbségét a hullámhossz töredékének pontosságával kell ismerni, illetve kiküszöbölni. Ha pontosan felfelé néz mindegyik teleszkóp, akkor az éppen a fejünk felett tartózkodó csillag hullámfrontjai ugyanabban az időben érik el az összes távcsövet, így ugyanakkora úton elvezetve a fényt az interferométerig elvileg kialakulhat a jellegzetes csíkrendszer. Azonban mielőtt eltérő irányban észlelünk, a különböző távcsövekhez más-más időpontban ér el ugyanaz a hullámfront, s az akár száz métert is elérő útkülönbséget néhány tíz nanométeres pontossággal kell kompenzálni.

Ezt a gyakorlatban úgy érik el, hogy a távcsövektől vákuumcsöveken át elvezetett fénynyalábok úthosszát az egyesítés előtt az ún. *nyalábszintetizálóban* kiegyenlítik. Ez általában egy több tíz méter hosszú alagút, amelyben sín párokon guruló kiskocsikra szerelt tükrök mozgásával mindegyik távcsőről érkező nyaláb ide-oda tükrözéssel pontosan annyit késleltethető, hogy a nyaláb kombináló laborba már ugyanaz a hullámfront érkezzon meg mindenhol. A kocsik mindenkor helyzetét nagyon pontos lézerezett interferométeres telemetria adja meg.

Ha ez így egész egyszerűen hangozna, lépünk ki a való világba: a Föld ugyanis forog, mégpedig nem is kis sebességgel, óránként 15 fokot elfordulva. Emiatt a több száz méteres bázison alapuló távcsőpároknál a fényút-különbség gyakorlatilag több cm/s sebességgel változik, azaz a nyaláb késleltető kiskocsiknak adott esetben több centimétert kell másodpercen-

ként megtenni úgy, hogy a rajtuk levő tükrök helyzete 10–20 nm-es pontossággal ismert és meghatározott. Ezt nem is lehet csak a kocsik mikroszkopikus szinten durva mozgásával elérni, ezért a fényvisszaverő tükrök a kocsi- kon egy elektromágnesesen finomhangolható tartón vannak, amely a távolságokat másod- rendben korrigálja, rajta pedig egy piezoelektromos távtartó koronázza meg harmadlagos korrekciókkal az ultraprecíz telemetriát. És az egész rendszernek képesnek kell lennie a változó légköri viszonyokból fellépő fényút-különbség korrigálására is („vezetni” az interferenciáképre) – mindezt valós időben! Nem véletlen, hogy a 2000-es évek technikai fejlettségére volt szükség a ténylegesen működő optikai interferometriai képalkotáshoz.

Tudományos alkalmazások

A legegyszerűbb csillagászati interferometriai feladat csillagkorongok átmérőjének meghatározása. A mérések közel kilenc évtizedes múltja során feltételezték, hogy az észlelt csillag kör alakú korong egyenletes vagy peremsötétedéses fényességeloszlással. A mért interferenciacsíkokhoz megkeresve azt a korongátmérőt, amellyel kiszámítva az elméleti interferenciát a lehető legjobban közelíthető a fókusz síkban detektált kép (a gyakorlatban nem magukat a képeket, hanem az azok Fourier-transzformáltjaiból származtatott láthatóságot (*visibility*) illesztjük elméleti modellel, de ez a lényegen nem változtat). Viszonylag egyszerűen belátható, hogy ismert látszó fényességű csillagokra a szögátmérő és a csillag hőmérséklete szoros kapcsolatban áll, ezért a technika egyik fontos alkalmazása a nagyon precíz hőmérsékleti skála kalibrálása. Időben változó átmérőjű csillagokra közvetlenül kimérhető a szögátmérő változása, ami például a kozmikus távolságskálában fontos

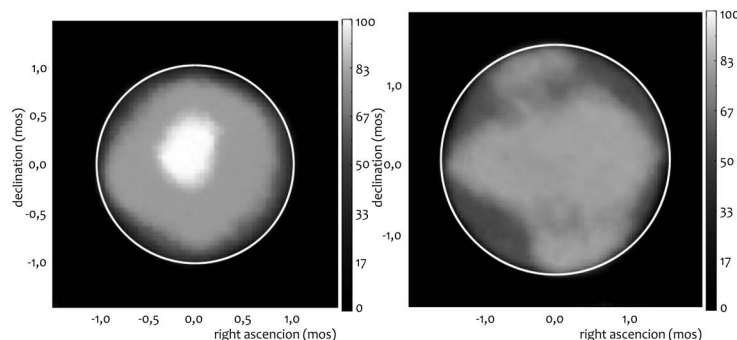
szerepet játszó cefeidák esetében a sugárirányú pulzáció által okozott 10–20%-os periodikus méretváltozásokat jelenti. Összevetve ezeket a fényesség és a látóirányú sebesség Doppler-effektusból számítható változásaival a pulzáló változócsillagok fizikáját tanulmányozhatjuk, illetve pontosíthatjuk magát a távolságskálát (2. ábra).

Természetesen egészen más interferenciaképet kapunk, ha a mért csillag valójában egy szoros kettőscsillag. Épp ezért második alkalmazásként a kettőscsillagok asztrometriája említendő: az összetett interferenciacsíkok elemzésével kiszámítható az adott pár komponenseinek szög távolsága, illetve pozíciószöge. Hosszú időn keresztül megismételt mérésekkel kirajzolódhat a rendszer egész pályája, amelyből viszont már szinte a teljes fizikai leírás lehetővé válik (például tömegek, luminizások, távolság). Ide tartozik az extraszoláris bolygók pályameghatározása is, noha a kontrasztviszonyok miatt még az infravörös tartományban is sok nagyságrenddel halványabbak a bolygókísérők, mint a központi égitestek, ezért detektálásuk kemény dió.

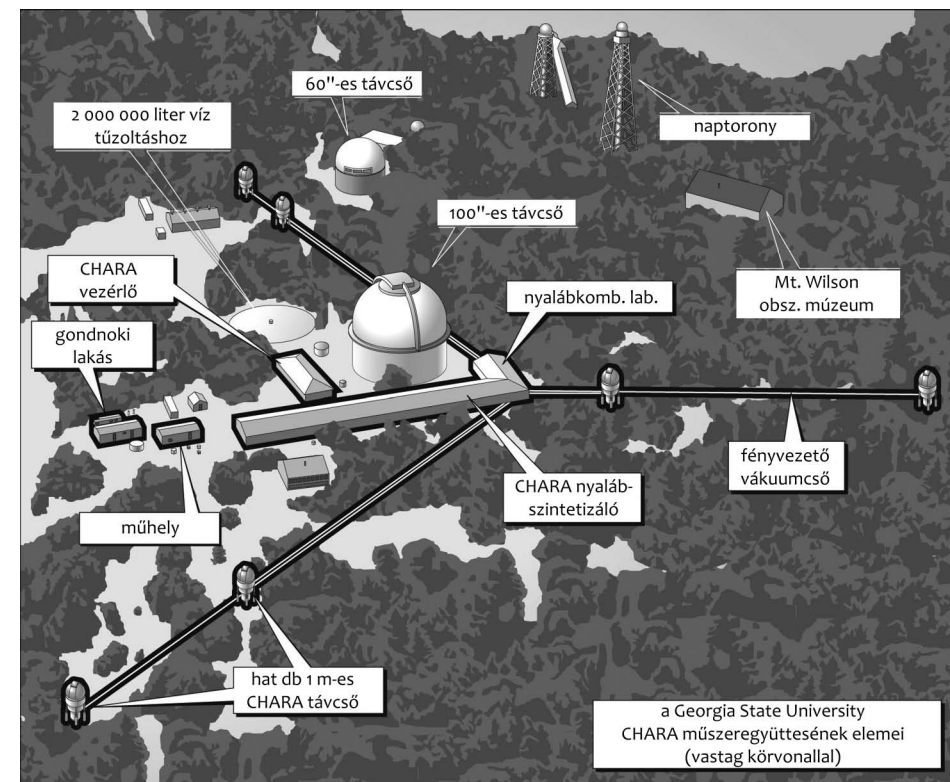
Kellően nagy bázisvonalak és fázislefedtettség mellett a csillagkorongok felszíni részletei

is felbonthatóvá válnak. Ebben úttörő munkát a CHARA-rendszer MIRC elnevezésű közeli-infravörös kamerája végzett az előző évtized közepén (például a nyári égbolt fényes csillagán, az Altairon különleges, a pólusok felé melegező felszíni hőmérséklet-eloszlást mért ki Monnier et al., 2007), mára pedig viszonylag rutinfeladattá vált az ezred ívmásodperces nagyságrendbe eső világos és sötét foltok feltérképezése interferometriai módszerekkel (lásd például Baron et al., 2014). A nagyon kicsi és közelítőleg kör alakú korongok részletei érdekesek lehetnek a naprendszerbeli kisbolygókra is, illetve a kozmológiai távolságokon található aktív galaxismagok központi fekete lyukait övező gázburokok esetében.

Végezetül szintén látványos eredmények születtek a körszimmetrikustól erősen eltérő, illetve a koncentrikus héjakkal övezett objektumok kutatásában. Mind a kialakulóban lévő fiatal csillagokat, mind az erős tömegvesztést mutató idős égitesteket gyakran porból és gázból álló korong veszi körbe, amelynek karakterisztikus látszó mérete messze alatta marad a Hubble-űrtávcső számára elérhető tartománynak. Ilyenkor kizárólag az interferometrikus módszerekből következtethetünk a



2. ábra • Két pulzáló vörös szuperóriás, a T Persei (balra) és az RS Persei (jobbra) rekonstruált képei a CHARA MIRC műszerével. A T Persei korongjának közepén látható fényes folt gyaníthatóan a csillag kiterjedt konvektív régiójával kapcsolatos (Baron et al., 2014).



3. ábra • A CHARA műszeregyüttes a Wilson-hegyi Observatóriumban

csillagközi anyag térbeli eloszlására, az esetleges csomósodások (pl. kialakuló bolygók) jelenlétére, illetve a rendszer geometriájára.

CSÚCSMŰSZEREK

CHARA a Wilson-hegyen

A Georgia State University által alapított CHARA (Center for High Angular Resolution Astronomy) rendszere gigantikus pókhálóként hat darab, egyenként 1 m-es távcsővel hálózta be a kaliforniai Wilson-hegyi Observatóriumot. Noha a Los Angeles peremén található helyszín ege mára meglehetősen fényszennyezett, a nagy fényigényű interferometria eleve fényes csillagok vizsgálatára használható, ezért

az égi háttér zavaró hatása nem jelentkezik az adatokban. Az observatórium a 20. század első felében óriási felfedezések helyszíne volt: itt dolgozó csillagászok ismerték fel, hogy a Nap nem a Tejútrendszer középpontjában van (Harlow Shapley); fedezték fel, hogy számtalan galaxis létezik még a Tejútrendszeren kívül (Milton Humason, Edwin Hubble); a Napnak pedig jelentős mágneses tere van, ami fontos szerepet játszik aktivitásában (George Ellery Hale); az Univerzumot létrehozó ősrobbanás jeleként a galaxisok távolodnak (szintén Hubble); saját galaxisunkon belül pedig eltérő korú csillagok populációi különíthetők el (Walter Baade). Ehhez képest a CHARA egy szűk szakterületen, a csillagok interferometriá-

jában játssza az egyik vezető szerepet, ám ez mit nem von le a kutatások érdekességéből.

A CHARA hat távcsövéből összesen tizenöt pár alkotható, amelyek nemcsak más-más pozíciószögeknek felelnek meg, hanem a párok távolságai is széles tartományba esnek (3. ábra). Utóbbival különböző szögtartományok fedhetők le: a közeli távcsőpárok a nagyobb szögtávolságú, a távoli párok pedig a legfinomabb részletekre érzékenyek. A CHARA legnagyobb bázisvonala 331 méter, ami a használható hullámhosszakat figyelembe véve kb. 200 mikroívmásodperces (0,2 mas) felbontást tesz lehetővé! Összehasonlításképpen: a Hubble-űrtávcső (HST) WFPC2 kamerájában egy pixel kb. 0,05 ívmásodperc, azaz 50 mas méretű az égen – ez 250-szer nagyobb, mint a CHARA-rendszer maximális felbontása. Persze utóbbival soha nem fognak olyan gyönyörű, részletdús képek készülni kiterjedt, halvány égitestekről, mint a HST-vel – de nem is ez a műszeregyüttes célja.

Az intézmény két magyar munkatársa, *Sturmán László* és felesége, *Sturmán Judit* kezdettől fogva a kutatócsoport tagja (bő két évtizede élnek az USA-ban). Legfőbb feladatuk a működés során felmerülő problémák, fejlesztések, optikai tervezések megoldása, végrehajtása – egyszerűen a műszeregyüttes stabil futásáért felelősként rendkívül fontos szerepet játszanak a CHARA életében. Hozzájárulásuk alapvető volt abban, hogy a CHARA ma az északi féltekén működő legérzékenyebb és legnagyobb felbontású optikai, illetve infravörös-interferométer, az elmúlt tíz évben több mint száz referált szakcikket produkáló kutatásokkal.

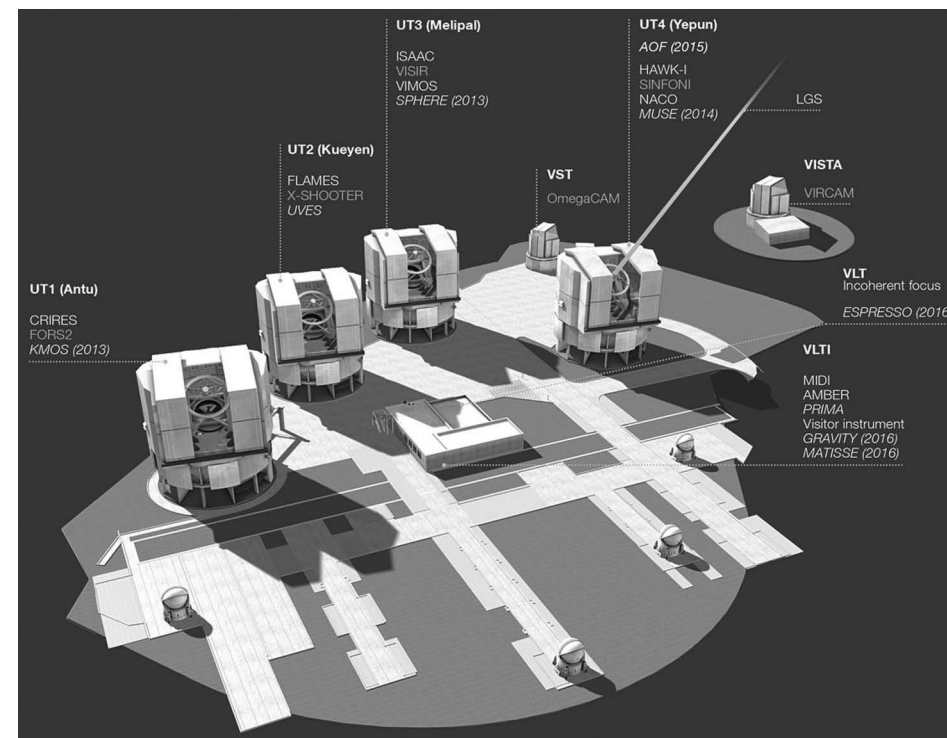
ESO Very Large Telescope Interferometer

Az Európai Déli Obszervatórium (European Southern Observatory – ESO) kétségkívül a

világ csillagászatának egyik legfontosabb megfigyelőhelye. Négy 8,2 m-es óriásteleszkóp épült a Cerro Paranal csúcsára, amelyeket kezdettől fogva interferometrikus üzemmódban is terveztek használni. A minél jobb felbontás és fázisfedettség céljából négy 1,8 m-es segédteleszkóp szolgálja az összességében Very Large Telescope Interferometer (VLTI) névre keresztelt műszeregyüttest. Utóbbi távcsövek harminc egyedi állomáshely között mozgathatók, ezáltal beállítható az optimális konfiguráció tetszőleges égi pozícióra. A leg hosszabb bázisvonal 140 méteres, ami az alkalmazott infravörös hullámhosszakkal együtt mintegy 1 mas felbontást enged meg a VLTI-vel (4. ábra).

Miként a CHARA-nál is több műszer analizálja az interferenciaképeket, úgy az ESO VLTI esetében is különböző hullámhosszakon, különböző nyalábkombinációkkal több műszer szolgálja a szakmai közösséget. 2015 tavaszán három nyalábkombinálóra lehetett beadni műszerpályázatokat: a MIDI 8 és 13 mikrométeres közép infravörös hullámhosszakon kettős interferenciaképeket rögzít, az AMBER 1 és 2,5 mikrométer közötti közeli infravörösben távcsőhármassok nyalábjait, a PIONIER pedig a grenoble-i IPAG intézet vendégműszereként távcsőnégyesek egyesített fényét kombinálja interferometrikus képalkotáshoz, 1,6 mikrométeres hullámhosszon.

A VLTI nemcsak rendkívül produktív eszköz (tíz év alatt több mint ezer publikációt eredményezett), hanem a jövőbeli fejlesztéseket is nagyban generálja. Jelenleg két újabb interferometriai műszer áll fejlesztés alatt: a MATISSE és a GRAVITY. Mindkettő távcsőnégyesek nyalábjait fogja interferáltatni a közeli- és közép infravörös tartományban. A MATISSE hazai vonatkozása, hogy az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóköz-



4. ábra • Az ESO VLTI négy 8,2 m-es óriásteleszkóp és négy 1,8 m-es távcső fényét kombinálja az interferometriai mérésekhez.

pont Csillagászati Intézetének munkatársai részt vesznek a fejlesztési munkálatokban egy holland-magyar kooperáció keretében. A GRAVITY fő célja 2 mikrométeres hullámhosszon a Tejútrendszer magjában található központi fekete lyuk vizsgálata, a mintegy 10 mikroívmásodperces pontosságú pozícióméréseken keresztül. Ezzel a felbontással a nagyjából 4 millió naptömegű fekete lyuk körül keringő csillagok pályáit lehet nagyon pontosan kimérni, amiből közvetlenül adódik a vizsgált tartomány téridő-metrikája, illetve a behulló gázfelhők sugárzását is követni lehet.

A jövő

Miközben az amplitúdó- és fázisinterferometrián alapuló képalkotás bevonul az optikai

csillagászat eszköztárába, érdekes régi-új irányok nyílnak meg a technikai fejlődéssel. Dainis Dravins és munkatársai a *Nature Communications*-ben publikálták 2015. áprilisban azt a tanulmányt, amelyben az intenzitásinterferometria optikai megvalósítását mutatták be újszerű módon: optikai jelegyesítés helyett elegendő lehet az elektronikus formában történő korreláltatás. Maga az ötlet *Robert Hanbury Brown* és *Richard Twiss* 1956-os kísérleteire vezethető vissza, akik a Sirius szögátmérőjét a csillagról érkező fotonáram intenzitásában kimutatható koherencia alapján határozták meg. Noha a jelenség értelmezhető a klasszikus optika fogalmaival, valójában kétfotonos kvantumjelenségről van szó. Ami különösen fontos gyakorlati szem-

pontból: az intenzitásinterferometria nem igényli a pontos képalkotást, mindössze a fotonáram időbeli jellemzőit kell kimérni különböző helyeken található távcsövekkel, majd a koherencián alapuló korrelációt kell kiszámítani. Ez azt jelenti, hogy a fényáram mérésére használt távcső optikai képalkotásának minősége szinte teljesen mindegy, illetve a légköri turbulenciák hatása is minimális. Azaz kidolgozható egy olyan interferometriai mérés, amelyhez nagyon olcsó távcsőhálózattal meglepően érzékeny képalkotás válik lehetővé. A kutatók javaslata alapján az atmoszferikus Cserenkov-sugárzás detektálására használt távcsövek ideális optikai eszközök

a technikához, és már néhány éven belül akár sok kilométeres bázisvonalú optikai interferometria is lehetővé válik. Mindez újabb nagyságrendi ugrást hozhat a felbontásért vívott küzdelemben, ezért az optikai interferometria közel sem lezárt történet még a csillagászatban.

A szerző munkáját az MTA Lendület Fiala Kutató Programja, az OTKA és az ESA PECS program támogatja.

Kulcsszavak: *interferometria, optikai apertúra-szintézis, csillagok asztrofizikája, csillagászati műszertechnika, CHARA, ESO VLT*

IRODALOM

- Baron, Fabien – Monnier, J. D. – Kiss L. L. et al. (2014): CHARA/MIRC Observations of Two M Supergiants in Perseus OB1: Temperature, Bayesian Modeling, and Compressed Sensing Imaging. *Astrophysical Journal*. 785, id. 46 DOI: 10.1088/0004-637X/785/1/46 • http://iopscience.iop.org/0004-637X/785/1/46/pdf/0004-637X_785_1_46.pdf
- Dravins, Dainis – Lagarde, T. – Nuñez, P. D. (2015): Optical Aperture Synthesis with Electronically Con-

nected Telescopes. *Nature Communications*. 6, id. 6852 DOI: 10.1038/ncomms7852 • <http://www.nature.com/ncomms/2015/150416/ncomms7852/full/ncomms7852.html>

Monnier, John D. – Zhao, M. – Pedretti, E. et al. (2007): Imaging the Surface of Altair. *Science*. 317, 342 DOI: 10.1126/science.1143205 • http://dept.astro.lsa.umich.edu/~monnier/Altair2007/Altair_files/monnier_final.pdf



OPTIKAI BIOÉRZÉKELEÉS

Kozma Péter Janosov Milán

PhD, tudományos munkatárs
kozma@mfa.kfki.hu

kutató diák

Petrik Péter

PhD, tudományos főmunkatárs, laborvezető

MTA Energiatudományi Kutatóközpont Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet

Történeti háttér

Leland C. Clark és Champ Lyons 1962-ben megalkották az első bioérzékelőt, az ún. enzimelektrodát, amellyel koszorúérműtétek során folyamatosan mérni tudták a páciensek véroxigén-szintjét (Clark – Lyons, 1962). Munkájukkal szemléltették az ilyen és hasonló eszközök fejlesztésében rejlő hatalmas orvostudományi és biotechnológiai lehetőségeket, s útjára indítottak egy azóta is töretlenül fejlődő kutatási területet, a *bioszenzorikát*. Bár az elmúlt ötven év során számos új és egyre jobb bioérzékelő-összeállítást, prototípust és terméket mutattak be, egyre nő az igény az érzékelők árának és méretének csökkentésére, az érzékenységük növelésére, jobb kimutatási határok elérésére, jobb specificitásra és nagyobb stabilitásra, újabb és még komolyabb kihívásokat támasztva ezzel a jelen és jövő kutatói és mérnökei számára.

A közismert és széles körben elterjedt, kis-méretű, gyors, olcsó, könnyen használható és megbízható vércukorszintmérők számos cukorbetegségben szenvedő páciens életét könnyítik meg évtizedek óta. A sokrétű orvosi biológiai alkalmazásokon (például a terhes-

ség-, bakteriális fertőzés-, koleszterin- vagy troponin T gyorsteszteken) túl a bioszenzorokat gyakran használják az igazságügy területén (például alkohol-, drog- és doppingtesztek elvégzésére), valamint az iparban is (például a gyógyszergyártásban, vagy víz- és ételminőség ellenőrzésére). Annak ellenére, hogy az orvosi biológiai kutatások már bizonyították a többparaméteres vizsgálatok előnyeit, a modern bioérzékelők jellemzően csak egyetlen, esetleg néhány paraméter együttes kvalitatív érzékelésére képesek. Több paraméter egyidejű, helyszíni és kvantitatív detektálása ma még nehezen kivitelezhető.

Jelenleg a legérzékenyebb bioérzékelők fluoreszcens, mágneses vagy radioaktív molekulajelölésen alapuló technikák. Segítségükkel – a jelölő jelét követve – akár egyetlen molekula útja is követhető a vizsgált térrészben. E módszerek széles körben elterjedtek, s nagyon népszerűek a biofizikai és biokémiai kutatásokban. Elvitathatatlan előnyeik mellett ezeknek ugyanakkor a jelölésmentes eljárásokkal szemben számos hátrányuk is van. A kémiai jelölés folyamata drága és költséges, idő- és laboratóriumigényes. Továbbá a csatolt jelölők hatással lehetnek a molekulák

tulajdonságaira, így módosíthatják a mérési eredményeket. Következésképpen, a jelölésmentes eljárások fontos alternatívát jelentenek a jelöléses technikák mellett, hiszen ezek, bár jelenlegi érzékenységük szerényebb, ugyanúgy specifikus és gyors méréseket tesznek lehetővé a fenti hátrányoktól mentesen.

A jelölésmentes bioszenzorikai rendszerek érzékelési mechanizmusának alapját a célmolekula és a felismerőelem között létrejövő specifikus, molekuláris szinten lezajló reakció képezi, ugyanúgy, mint a jelöléses technikák esetén. Azonban a jelölő jelenek követése helyett kihasználják, hogy a felismerés (azaz a célmolekula megkötése) valamilyen fizikai-kémiai változást hoz létre a rendszerben, amely azután egy alkalmas jelátalakító egység segítségével detektálható és mérhető (1. ábra). Más szavakkal, a célmolekulákat is tartalmazó biológiai minta (oldat vagy gáz) a felismerőelemekkel borított bioszenzor érzékelőfelületét éri, ahol a felismerőelemek feladata a keresett célmolekulák kizárólagos és hatékony megkötése. A felismerőelemeket egy korábbi

cikkünkben mutattuk be részletesen (Janosov – Kozma, 2014). A bekötődés fizikai, illetve kémiai változásokat okoz az érzékelőfelületen, amelyeket a jelátalakító egység erősít fel, s alakítja át például elektromosan feldolgozható jellé. Összegezve, a bioérzékelők feladata valamilyen célmolekula specifikus kimutatása a vizsgált környezetben (mintában).

Az imént bemutatott gondolatmenetet követve a bioszenzorikai mérések általános elve a következő: a bioérzékelő válaszjelét az érzékelőréteg mintabevitel előtt mért alapállapotához viszonyítjuk, azaz első lépésben rögzítjük az ún. *alaplapon*. Ezt követően a minta rendszerbe juttatásával megkezdődik a célmolekula felismerése. Az egyre növekedő, exponenciális jelleggel telítődő jel a felismerés kinetikájára és a célmolekulák koncentrációjára jellemző. A következő fázis az ún. lemosás, amelynek során eltávolítják a szenzor felületéről (és a rendszerből) a meg nem kötött molekulákat, hogy megkapják a bioérzékelési folyamat során létrejött molekula-komplexek (felismerőelem – célmolekula

párok) valódi mérési jelét. Ezt a jelet a mérés elején rögzített alapvonalhoz viszonyítják. A komplexek környezetét jellemző tulajdonságok (például: pH-érték, hőmérséklet) célzott megváltozásával a lemosás után lehetséges a felület regenerálása, amelynek eredményeképpen a szenzorfelület visszakerül eredeti állapotába. A folyamat sematikus vázlatát az 1. ábra jobb oldala mutatja be.

A felismerőelemekhez fejlesztett jelátalakítók számos típusa lelhető fel a tudományos és ismeretterjesztő irodalomban és a fejlesztő cégek kínálatában. Ezek többnyire tömeg-, hőmennyiség-, elektrokémiai vagy optikai változások kimutatásán alapuló mérési eljárások, amelyek közül az optikai módszerek jóval keresettebbek társaiknál. Ennek fő oka, hogy ezek az imént felsoroltak előnyeit költséghatékony módon egyesítik: a célmolekula bekötődési eseményeit kis teljesítményű elektromágneses mező segítségével roncsolás- és egyéb mellékhatásmentesen, azonnal és nagy mintavételezési frekvencia mellett detektálják. A felületegységre jutó érzékenységük kiemelkedően jó, valamint könnyen tömbbe rendezhetőek, így lehetőséget nyitnak nagyszámú párhuzamos mérés elvégzésére is. Az érzékelőfelületeik kialakításának technológiájának a versenytársakhoz képest – viszonylag alacsony. Továbbá az eszközök méretének gyors csökkenésével, kedvezőbb mennyiségű minta és reagens felhasználásával és a gyors mérésekkel gyakran alkalmasak akár páciensközi vizsgálatok hatékony elvégzésére is.

Optikai bioérzékelők és működésük

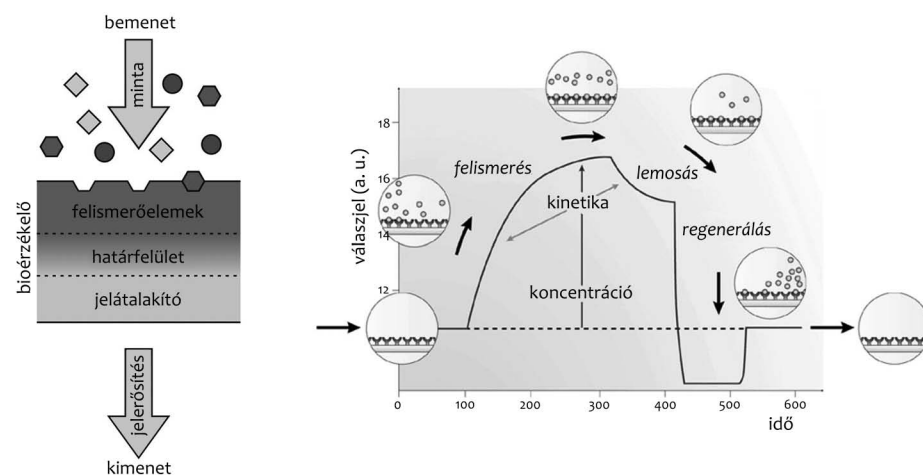
Az optikai jelátalakítók működésének alapja, hogy a célmolekulák bekötődésükkel kiszorítják a jelátalakító felületén elhelyezett felismerőelemeket körülvevő eltérő törésmutatójú közeg (általában valamilyen oldat) moleku-

láit, így e fizikai mennyiségek átlagos értékét megváltoztatják a felületközeli rétegben. A törésmutató és az azzal kapcsolatban álló fizikai mennyiségek (a haladó elektromágneses mező fázissebessége és hullámhossza, a rendszeren áthaladó fény intenzitása, polarizációs állapota stb.) a megkötött célmolekulák mennyiségével arányosan változik. Az optikai jelátalakítók e különbséget formálják mérhető jellé. Számos különféle konstrukciójú érzékelő látott már napvilágot, azonban a következőkben terjedelmi korlátok miatt csupán a legismertebb és legsikeresebb optikai jelátalakítók rövid bemutatására szorítkozunk.

Hullámvezetés

Kísérleti úton Jean-Daniel Colladon mutatta ki elsőként 1842-ben, hogy a fény határfelülethez érve akár teljes visszaverődést is szenvedhet. Abban az esetben ugyanis, ha egy – a fény számára átjárható – közeget egy nála kisebb törésmutatójúval határolunk, a nagyobb optikai sűrűségű közeg felől a határfelülethez az ún. kritikus beesési szög alatt érkező fénysugár teljes mértékben visszaverődik. (A kritikus beesési szög a Descartes–Snellius-törvény alapján meghatározható ún. *határszög*.) Colladon, majd John Tyndhall kísérletükkel megalapozták a hullámvezető-optika későbbi dinamikus fejlődését, hiszen amennyiben az ilyen rendszerek geometriáját és optikai tulajdonságait jól választjuk meg, a fénysugár csapdába ejthető és kiváló hatásfokkal vezethető. Mára ez a felfedezés számos területet, köztük a távközlés, a különböző mérés- és érzékeléstechnikák, valamint az egyéb integrált optikai módszerek világát is forradalmasította.

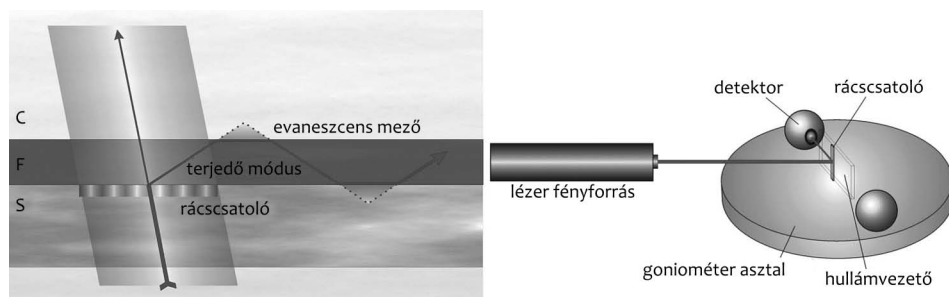
Az optikai hullámvezető legegyszerűbben kivitelezhető, mérés-technikai szempontokból kiváló, valamint matematikailag a legkönnyebben tárgyalható elrendezése az ún. sík



1. ábra • A bioérzékelők működésének elvi vázlata (balra) (Janosov – Kozma, 2014) és a bioszenzorikai mérések általános folyamata (jobbra) (Cooper, 2002)

dielektromos hullámvezető (2. ábra). Itt egy hordozó- (substrate – *S*) és egy fedőréteg (cover – *C*) között található vékony, magas törésmutatójú dielektrikumréteg (film – *F*) tölti be a hullámvezető szerepét. A filmrétegbe csatolt, s bennük terjedő ún. módusok (megfelelő fizikai paraméterekkel jellemezhető fénynyalábok) egy exponenciálisan lecsengő elektromágneses teret, ún. evanescens mezőt építenek fel a határfelület néhány száz nanométeres környezetében (2. ábra). Az evanescens mező kölcsönhat a hullámvezető film környezetével, így például a felületére rögzített felismerőelemekkel (illetve később a felismerőelem-célmolekula komplexekkel) is. Mivel e mező intenzitása a hullámvezetőtől távolodva exponenciálisan csökken, az ilyen jelátalakítók csakis a felület közvetlen környezetének változásait detektálják (Kozma et al., 2014a).

A hullámvezetésen alapuló első, széles körben elterjedt bioérzékelő bemutatása (Tiefenthaler – Lukosz, 1984) óta már számos más összeállítás is bizonyította, hogy a sík dielektrikum hullámvezetők kiválóan alkalmasak szenzorikai feladatok ellátására. Ezek közül az egyik legismertebb eljárás, amely hatékonyan használja ki a hullámvezetők kivételes felületérzékenységét, az optikai hullámvezető

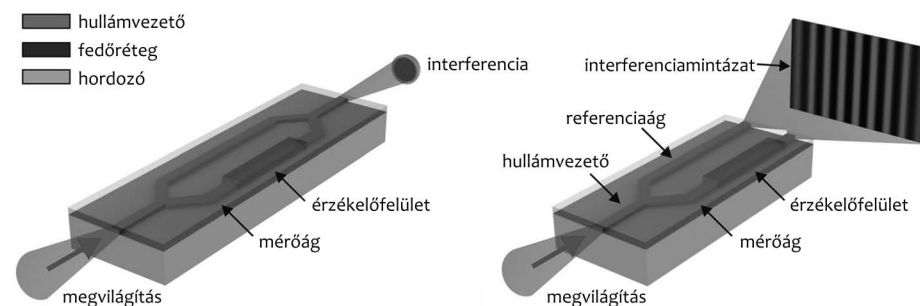


2. ábra • Az optikai rács segítségével a hullámvezető rétegbe csatolt módus evanescens mezeje kölcsönhat a hullámvezető környezetével (balra); az optikai hullámvezető fénymódus spektroszkóp elvi felépítése (jobbra) (Nagy et al., 2006)

fénymódus spektroszkópia (optical waveguide lightmode spectroscopy – OWLS). Elrendezése a következő: egy sík hullámvezető struktúrát rendkívül finoman forgatható goniometerasztalra helyeznek, majd egy lézerefényforrás fényét egy polarizációforgatón keresztül a hullámvezetőn található optikai rácsra irányítják. A hullámvezető két végére egy-egy fotodiódát illesztenek, s ezekkel mérik a beesési szög függvényében a fényintenzitást (2. ábra, jobb oldali kép). Azon beesési szög mellett, amely esetén a fény képes a hullámvezetőbe csatlódnival, azaz módus indul, intenzitáscsúcsot mérünk a detektorokkal. Ez a pozíció azonban a beeső fény hullámhosszán és a rács periódusán túl függ a rétegek opto-geometriai paramétereitől, azaz a rendszer effektív törésmutatójától is. Amennyiben a fedő, film és hordozó közegek optikai sűrűsége állandónak tekinthető, a felületen fejlődő vékonyrétegben végbemenő változás a móduscscsok pozíciójának folyamatos mérésével követhető.

Interferométerek

Thomas Young 1804-ben publikálta a híres kétréses fényinterferencia-kísérletét, amely meghatározó szerepet töltött be a fény hullámtermészetének elfogadásában, továbbá, a



3. ábra • Integrált Mach–Zehnder típusú (balra) és Young-féle interferométer (jobbra) sematikus szerkezeti vázlata (Kozma et al., 2014a)

klasszikus optikától a modern kvantumfizikáig számos tudományterületet inspirált, és segített a környező világ mélyebb megértésében. Kísérletében bemutatta, hogy egy pontforrás fénye egymáshoz közeli két résen áthaladva interferenciamintázatot hoz létre. Kilenven évvel később, egy másik jelentős kísérlet két egymástól függetlenül tevékenykedő tudós nevéhez fűződik. Ludwig Mach (1892-ben) és Ludwig Zehnder (1891-ben) megmutatták, hogy egy kollimált fénynyaláb alkalmazható törésmutató-mérésre. Tekintve, hogy mind a Young-féle, mind pedig a Mach-Zehnder típusú interferométer a fény hullámtermészetét használja ki, működésük is hasonló. A modern interferométerekben a koherens és monokromatikus forrás polarizált fényét általában két nyalábra osztják, amelyek egyike a mintával lép kölcsönhatásba, míg a másik a referencia szerepét tölti be. A két nyaláb két egymástól független útvonalon jut el a detektorig, ahol azokat interferáltatva a két nyaláb – mérő- és referenciaágak – fáziskülönbségéről kaphatunk információt.

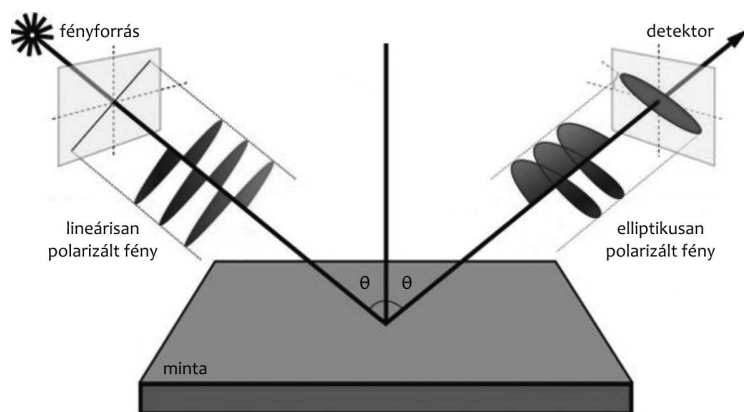
A Mach- és Zehnder-féle elvet követő interferométerek működésének alapja, hogy a mérőágukban haladó fénynyaláb a kívánt biológiai oldattal, azaz a mintával kölcsönhatásba lép, miközben a referenciaágban terje-

dőhöz képest fáziseltolódást szenved. A két nyalábot újraegyesítve a fáziskülönbségüknek megfelelő interferenciaintenzitást mérjük ($I \sim \cos(\Delta\Phi)$). Amennyiben a minta optikai tulajdonságai megváltoznak, a detektált interferenciaintenzitás is ennek megfelelően módosul. A Young-interferométerek esetén csupán annyi a különbség, hogy a két nyalábot nem egyesítik újra, hanem azokat (miután a mérőág kölcsönhatott a mintával) két szomszédos, egymáshoz közel található pontból (másodlagos pontforrásból) gömbhullámokat indítva egy képérzékelő felületén interferenciamintázatot hoznak létre. A szenzorfelületen végbemenő változások a mérőágban terjedő nyaláb fázisát, így az interferenciámintázat intenzitásának minimum- és maximumhelyeit eltolják, amelyek mértékéből következtethetünk a vizsgált folyamat biofizikai tulajdonságaira. Mind a Mach-Zehnder, mind a Young típusú modern jelátalakítók többnyire hullámvezetőkbe integrálják (3. ábra). Ez esetben a fenti leírás a szabadon terjedő nyalábok helyett hullámvezetett módusokra lesz érvényes.

Ellipszometria

Paul Karl Ludwig Drude már 1889-ben lefektette az ellipszometria elméleti alapjait (Drude,

1889), azonban a módszer csak a számítástechnika fejlődésével tudott elterjedni, mivel a mérések kiértékelése nagy számítási kapacitást igényel. Az eljárás kihasználja, hogy a fény polarizációs állapota a határfelületen történő törés vagy visszaverődés következtében megváltozik. Ellipszometriáról akkor beszélünk, ha a beesési síkkal párhuzamosan polarizált fény visszaverődését hasonlítjuk a beesési síkra merőlegesen polarizált fény reflexiójához. A fentiekben tárgyalt bioérzékelők szemszögéből nézve az ellipszometria olyan interferometriának is tekinthető, ahol a referenciayalábunk a beesési síkra merőleges polarizációjú fény. A legtöbb megoldás sajátja, hogy a vizsgáló fénynyaláb polarizációs állapotát modulálja (például egy polarizátor a beeső fénysugár tengelye mentén történő forgatásával), és a reflektált intenzitást méri a moduláció függvényében. Ily módon az egymásra merőleges polarizációjú reflexióknak nem csupán az amplitúdója, de a fázisa is összevethető lesz. Következésképpen az interferométerekhez hasonlóan a vizsgáló fény hullámhosszánál jóval vékonyabb, szubnanométeres vékonyrétegvastagság-érzékenység érhető el.

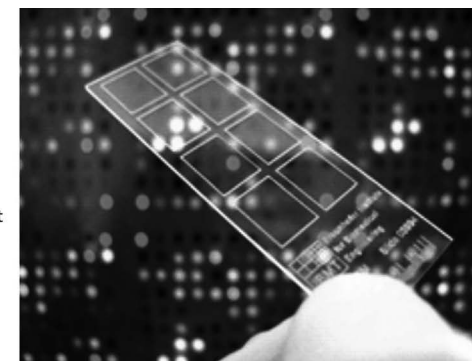
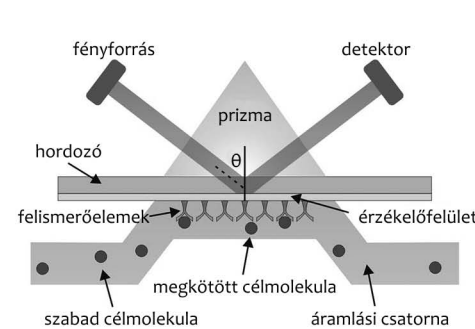


4. ábra • Spektroszkópiai ellipszométer működési elvének egyszerűsített bemutatása (URL1)

A spektroszkópiai ellipszométer két állítható dőlésszögű, azonos síkban fekvő optikai karból, egy finoman pozicionálható optikai asztalból, valamint vezérlő és feldolgozó elektronikai elemekből épül fel. Az egyik optikai kar a fényforrást és a polarizátort, a másik az analízátort és a detektort foglalja magában. A fényforrás fénye a forgó polarizátoron áthaladva az aktuális polarizátorállásnak megfelelő síkban lineárisan polarizálttá válik. Ezután a mintára vetődik, ahol a fény-anyag kölcsönhatás következtében polarizációs állapota megváltozik (általában elliptikusan polarizálttá válik). A mintáról a nyaláb az analízátorba jut, ahol az ezen áthaladni képes fénycsatorna bejut a detektorba. A mérés eredménye a hullámhossz és az analízátor szögének függvényében mért intenzitás. Az érzékenység növelése érdekében egyre gyakrabban alkalmaznak a hullámvezető-spektroszkópiához hasonlóan hordozó felől mérő ellipszometriai elrendezéseket is, kombinálva a következő fejezetben bemutatott plazmonrezonanciával.

Plazmonika

A tudományos cikkekben szereplő hivatkozásokat és az eladási statisztikákat tekintve



5. ábra • A felületi plazmonrezonancián alapuló spektroszkóp elvi felépítése (balra) (Janosov – Kozma, 2014a). Jobbra egy 2×4 mikrotömböt tartalmazó hordozó és egy mérési eredmény részlete látható (a háttérben, hamisszínes ábrázolásban). (A kép a Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie – Institutsteil Bioanalytik und Bioprozesse [IZI-BB] tulajdona.)

egyaránt minden idők legsikeresebb optikai jelátalakítói a felületi plazmonrezonanciát (*surface plasmon resonance* – SPR) kihasználó spektroszkópiai berendezések. E műszerek működési elve az, hogy egy vékony aranyréteg felületéről teljes visszaverődést szenvedő lézert fény evanescens mezeje felületi plazmonokat (kollektív rezgésbe hozott szabad elektronokat) gerjeszthet a fémréteg felületén. Az SPR-technológia alkalmazása esetén a fémfelületről reflektálódó fény intenzitásának szögfüggését mérik (Homola et al., 1999).

Az ún. Kretschmann-elrendezésben egy üvegprizmához törésmutató-illesztő folyadékkal olyan üveghordozót rögzítenek, amelynek túlsó felületére előzőleg arany vékonyréteget választottak le. A bioérzékelés az aranyréteg felületén megy végbe (5. ábra). A beesési síkkal párhuzamosan polarizált fény intenzitása a fémrétegről visszaverődve egy adott, a felületi plazmonokat gerjesztő szögnél jelentősen lecsökken, amiből meghatározható a vizsgált vékonyréteg optikai tulajdonsága. E fizikai paraméter megváltozása kapcsolatba hozható a bekötődő célmolekulák mennyiségével.

Mikrotömbolvasók

Már az első bemutatásuk óta széles körben alkalmaznak mikrotömböket (microarrays), ha több mérendő mennyiség együttes detektálására van szükség. Ennek oka, hogy egyszerű és költséghatékony módon alkalmazzák a nano-biotechnológia nyújtotta előnyöket. Több száz vagy több ezer biológiailag fontos anyagot, például különféle felismerőelemeket cseppentenek (és rögzítenek kémiai) rács elrendezésben egy hordozó felületére. A cseppek térfogata néhány nanoliter vagy kevesebb, a hordozón felvett átmérőjük tipikusan 10–500 mikrométer. A hordozót ezek után kezelik a mintával. Jelölésmentes mikrotömbök esetén a chip egy mosási lépést követően azonnal vizsgálható. Jelöléses kioldás esetén egy további előkészítési lépést szükséges beiktatni, amelynek során a megkötött célmolekulákat például fluoreszcens molekulákkal megjelölik.

Számos említésre méltó optikai mikrotömbolvasó látott már napvilágot, amelyek közül a legismertebbek a konfokális mikro-

szkóp elvén működő fluoreszcenciaszkennerek és a fluoreszcens-mikroszkópok. Az előző alfejezetekben bemutatott példák közül is több eljárás alkalmas mikrotömbök kiolvasására. Említhetjük például a képalkotó felületi plazmon spektroszkópokat vagy a képalkotó spektroszkópiai ellipszometereket. E készülékek a mikrotömb teljes felületét időben folyamatosan vizsgálva pontos információt adnak a célmolekulák bekötődéséről, így több száz vagy akár több ezer felismerőelem - célmolekula reakció párhuzamos kinetikai elemzésekre is lehetőséget nyújtanak. Az utóbbi években számos hordozható, költséghatékony mikrotömbolvasót is bemutatnak, amelyek bár érzékenységből még elmaradnak, ígéretesnek bizonyultak helyi diagnosztikai alkalmazásokra (Kozma et al., 2014b).

Kitekintés

Clarknak és Lyonsnak, valamint az elmúlt több mint ötven év során nyomdokaikba lépő számtalan kutatónak köszönhető, hogy a fentiekben bemutatott bioérzékelők mára már széles körben elterjedtek, s a modern kutatások alapvető eszközeivé váltak. A terület dinamikus fejlődését, térhódítását, valamint a már megjelent kisméretű, hordozható eszközöket látva könnyen elképzelhető, hogy ugyanúgy, ahogy ma a mobiltelefonok, a jövőben ezek is mindennapjaink szerves részei lesznek. Ehhez azonban még hosszú út vezet, hiszen nem elegendő csupán a készülékek árát csökkenteni. Az eszközök érzékenységét, a mérések megbízhatóságát is jelentősen javítani kell, továbbá ezeket olyan kis méretben

kell megvalósítani, hogy azok nem invazív módon legyenek képesek folyamatos detektálásra a lehető legkevesebb minta felhasználásával úgy, hogy mindeközben a lehető legtöbb paraméter együttes meghatározását tegyék lehetővé.

Az imént megfogalmazott cél elérését az ún. *lab-on-a-chip* fejlesztések segítik, amelyek miniaturizált diagnosztikai laboratóriumok chip méretű megvalósítását célozzák. Ha a kisméretű, olcsó és megbízható bioérzékelőket egyesíteni tudjuk a miniaturizált, laboratóriumi feladatokat ellátni képes *lab-on-a-chip* eszközökkel, úgy az ún. *point-of-care* (helyszíni) vizsgálatok széles körben elterjedhetnek, s ezek a beteg közvetlen közelében, akár az orvosi rendelőben, a kórházi ágy mellett, otthonainkban, vagy a mentőautóban is gyors és széles körű vizsgálatok elvégzését tehetik majd lehetővé. Ezen hordozható analitikai laboratóriumokkal néhány percen belül, vagy akár még rövidebb idő alatt elvégezhető helyszíni tesztek a vizsgálatot végző orvos számára azonnali és rendkívül fontos információt szolgáltathatnak majd a beteg állapotáról. Nem lesz szükség a minta szállítására, a túlterhelt központi laboratóriumok tehermentesítésével pedig elkerülhető lesz a vizsgálat késlekedése, s mindezekkel időt nyerve, a helyszínen felállított gyors és pontos diagnózis alapján történő azonnali beavatkozás életet menthet.

Kulcsszavak: *bioérzékelés, hullámvezető, interferometria, ellipszometria, plazmonika, mikrotömbök*

- Theil. *Annalen der Physik*. 272, 865–897. DOI: 10.1002/andp.18892720409
- Homola, J. – Yee, S. S. – Gauglitz, G. (1999): Surface Plasmon Resonance Sensors: Review. *Sensors and Actuators B*. 54, 3–15. DOI:10.1016/S0925-4005(98)00321-9
- Janosov Milán – Kozma Péter (2014): A jelölésmentes bioérzékelés modern eszközei. *Fizikai Szemle*. 9, 304–310. • http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1409/JanosovM_KozmaP.pdf
- Kozma Péter – Kehl, F. – Ehrentreich-Förster, E. – Stamm, C. – Bier, F. F. (2014a): Integrated Planar Optical Waveguide Interferometer Biosensors: A Comparative Review. *Biosensors and Bioelectronics*. 58, 287–307. DOI: 10.1016/j.bios.2014.02.049
- Kozma Péter – Lehmann, A. – Wunderlich, K. – Mi-

- chel, D. – Schumacher, S. – Ehrentreich-Förster, E. – Bier, F. F. (2014b): A Novel Handheld Fluorescent Microarray Reader for Point-of-care Diagnostic. *Biosensors and Bioelectronics*. 47, 415–420. DOI: 10.1016/j.bios.2013.03.043
- Nagy Norbert – Volk J. – Tóth A. L. – Hámori A. – Bársony I. (2006): Optikai érzékelők nanoszerkezetű szilíciumból. *Élet és Tudomány*. 36, 1130–1133.
- Tiefenthaler, Kurt – Lukosz, Walter (1984): Integrated Optical Switches and Gas Sensors. *Optics Letter*. 9, 137–139. DOI: 10.1364/OL.9.000137
- URL: <http://www.americanlaboratory.com/914-Application-Notes/138874-Spectroscopic-Ellipsometry-Characterization-of-Thin-Films-Used-in-the-Food-Packaging-Industry/>



IRODALOM

- Clark, Leland C. – Lyons Champ (1962): Electrode Systems for Continuous Monitoring in Cardiovascular Surgery. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 102, 29–45. DOI: 10.1111/j.1749-6632.1962.tb13623.x
- Cooper, Matthew A. (2002): Optical Biosensors in Drug Discovery. *Nature Reviews on Drug Discovery*. 1, 515–528. DOI:10.1038/nrd838
- Drude, Paul (1889): Über oberflächenschichten. II.

ATOMMAGFIZIKA FÉNNNYEL

Krasznahorkay Attila

az MTA doktora, tudományos tanácsadó, főosztályvezető,
MTA Atommagkutató Intézet
kraszna@atomki.hu

Bevezetés

A fénnnyel végzett atomspektroszkópia eredményei már a magfizika kezdetén jelentősen segítették az atommagok szerkezetének megértését. Az optikai színekpvonalak hiperfinom felhasadását már *Albert Michelson* (1891), továbbá *Maurice Charles Fabry* és *Alfred Perot* (1897) is megfigyelték interferencia-spektroszkópiai vizsgálatokban. 1914-ben már nagy mennyiségű kísérleti adat állt a kutatók rendelkezésére. 1924-ben *Wolfgang Pauli* vetette fel először, hogy a színekpvonalak hiperfinom felhasadását az atommagok mágneses momentuma okozhatja. Az ezt követő további nagy felbontású mérésekkel sikerült meghatározni sok stabil atommag spinjét és mágneses momentumát. Ezek az adatok alapvetően fontosak voltak az atommagok héjmodelljének későbbi kifejlesztéséhez.

1935-ben *Hermann Schüller* és *Theodor Schmidt* megmutatták, hogy a hiperfinom felhasadásban észlelt anomáliák az atommagok elektromos kvadrupólus-momentumával magyarázhatók. Ezen anomáliák mérése fontos adatokat szolgáltatott az atommagok deformációjára.

Megfigyelték azt is, hogy az elemek színekpvonalai eltolódnak, ha az elemek különböző tömegű izotópjait vizsgálják. Ezt az effektust izotópeltolódásnak nevezzük, és annak

mértéke az atommagok tömegén túl azok töltéseloszlási sugarának változásaival magyarázhatók. Az izotópeltolódások mérésével így az atommagok mérete is meghatározhatóvá vált. A ritkaföldfémeknél megfigyelt nagy izotópeltolódások ezen atommagok nagy deformációjával voltak magyarázhatóak.

A lézerek megjelenése nagy hatással volt a magszerkezet-kutatások kiterjesztésére is. A lézerfény monokromatikussága, jól meghatározott hullámhossza korábban elképzelhetetlen energiefelbontású mérések kivitelezését is lehetővé tette, a nagy teljesítménye pedig a mérések érzékenységét növelte meg. Mára lehetségessé vált egy-két atomon is spektroszkópiai méréseket végezni, aminek manapság a ritka radioaktív nyalábokkal végzett vizsgálatokban van különösen nagy jelentősége.

A nagy teljesítményű lézerek felhasználása a magfizikában

Az utóbbi években kifejlesztett nagy teljesítményű lézerekkel már át is alakíthatjuk az atommagokat. E lézerek fényének fókuszálásával már akár 10^{25} W/cm² intenzitásokat is elérhetünk, és a nyalábot egy céltárgyra irányítva olyan magas hőmérsékletű plazmát hozhatunk létre, amilyen az ősrobbanás utáni első másodpercben létezett. A nagy teljesítményű, ultrarövid impulzusú lézerek látványos fejlődése és az ezzel gyorsított elektronok

és a nehéz ionok megnyitották az utat újfajta magfizikai és ehhez kapcsolódó egyéb területek vizsgálatához is. A modern, nagy intenzitású lézerek segítségével ma már különféle magreakciókat is létre lehet hozni. A lézeres részecskegyorsítás eredményeinek 2004 szeptemberében a *Nature* folyóirat *Álomnyalábok* címmel egy teljes kötetet szentelt.

Felismerve a nagy teljesítményű lézerek jelentőségét mind a különböző kutatási területeken, mind az alkalmazásokban, 2010-ben Extreme Light Infrastructure (ELI) névvel egy európai programot is indítottak. Az ELI egy három helyszínen (Szeged, Prága, Bukarest) épülő európai nagyberendezés-együttes, aminek célja nagy teljesítményű lézerek kifejlesztése és azok felhasználása különböző kutatási és alkalmazási feladatokra.

Magfizikai kutatások

az ELI bukaresti helyszínén, az ELI-NP-nél

Bukarestben az ELI-NP-nél a terawattos (TW) lézerek fényét, fotonjait nagyenergiás elektronokkal ütköztetve, a fotonok energiáját a rugalmas (Compton-) szórás segítségével nagymértékben meg fogják növelni, és ilyen módon nagy intenzitású, megfelelően monokromatikus, 1–20 MeV energiájú, kis szögdivergenciájú γ -sugárzások állíthatók elő. Ezekkel a γ -nyalábokkal magszerkezet-kutatókat, nukleáris asztrofizikai kutatókat, alapvető kvantumelektrodinamikai folyamatok vizsgálatát, anyagtudományi, biológiai; a radioaktív hulladékok megsemmisítését célzó, továbbá belbiztonsági szempontból fontos kutatókat fognak végezni. Ez a berendezés a tervezett nagy (10^9 γ /s/keV) intenzitásával, jó (0,3%) energiefelbontásával és széles (1–20 MeV) energiatartományával unikális lehetőségeket fog teremteni a világon jelenleg működő hasonló berendezésekhez képest (URL1).

A tervezett kutatások részleteit az ELI-NP „fehér könyve” tartalmazza (URL2). A jelen összefoglalóban olyan tervezett kutatásokról számolok be, amelyeket mi indítottunk, vagy amelyekben mi is aktívan részt fogunk venni.

Fotoindukált magreakciók vizsgálata

Míg a magfizikai vizsgálatokra általánosan használt magreakciók során az erős kölcsönhatás játssza a döntő szerepet, a nagyenergiás γ -sugárzásoknak az atommaggal történő kölcsönhatása a jól ismert elektromágneses kölcsönhatással írható le. Ez jelentősen megkönnyíti a kísérleti eredmények értelmezését.

Ha a γ -sugárzások energiája kisebb az atommagot alkotó protonok és neutronok kötési energiájánál, akkor az atommag gerjesztett állapotának megszűnése is csak γ -sugárzások kibocsátásával történhet. Ezt a folyamatot nukleáris rezonancia fluoreszcenciának (NRF) nevezzük, és az ELI-NP-nél ez az egyik legfontosabb kutatási terület mind az alap-, mind az alkalmazott kutatások szempontjából. Az NRF hatáskeresztmetszete egy nívóra akkor a legnagyobb, ha a γ -sugárzás energiája pontosan megegyezik a nívó energiájával. Ekkor a hatáskeresztmetszet arányos az alapállapotról az adott nívóra történő átmenet valószínűségével. A hatáskeresztmetszet mérésével így a fenti átmeneti valószínűségek meghatározhatók, és ezek a magmodellek teszteléséhez nagyon fontos adatokat jelentenek. Elektromos dipólus átmenetekre ezek a hatáskeresztmetszetek elég nagyok (kb. 100 barn) ahhoz, hogy azok az ELI-NP által szolgáltatott γ -nyalábokkal és egy kellően nagy hatásfokú γ -detektor-rendszerrel mérhetőek legyenek.

Az NRF azonban nemcsak alapkutatásokra, hanem számos gyakorlati felhasználás számára is fontos módszer. A nukleáris anyagok összetétele, dúsítási foka például kiégett

fűtőelemek esetén ezzel a módszerrel jól mérhetővé válik. Szintén mérhető lesz a radioaktív hulladékok hosszú felezési idejű, nagy radiotoxicitású tartalma is. Az ezekhez a vizsgálatokhoz kulcsfontosságú adatokat, gerjesztési energiákat és átmeneti valószínűségeket a szóban forgó atommagokra azonban először pontosan meg kell mérni, mivel ezek nem állnak az irodalomban a rendelkezésünkre. Különösen nem a hosszú felezési idejű radioaktív hulladékokra.

A bombázóenergia növelésével a nívósűrűség exponenciálisan növekszik, és az egyes nívók már nem lesznek feloldhatók, de az energia függvényében végzett hatáskeresztmetszet-mérések ideális eszközök az atommagok dipóluserősség-eloszlásának meghatározására. Ezen eloszlások vizsgálatával az atommagok különböző óriásrezonanciáit tanulmányozhatjuk (1. ábra).

Óriásrezonanciáknak az atommag olyan kollektív gerjesztéseit, rezgési állapotait nevezzük, amikor az atommagot alkotó protonok és neutronok legalább fele aktívan részt vesz a koherens vibrációban. A legismertebb óriásrezonancia a dipólus-óriásrezonancia, amelynek első elméleti értelmezésében a magyar származású Teller Ede jelentős szerepet játszott.

Nehéz magok esetén a nagyobb gerjesztési energiáknál megjelenő, mind elméleti, mind gyakorlati szempontból igen érdekes jelenség az atommaghasadás jelensége. A maghasadás során az atommag teljes egésze átalakul, két részre hasad.

A magfizika tudománya kialakulása óta jelentős szerepet játszott az energiatermelésben. Enrico Fermi korai eredményei után azonban ezen a téren kevés áttörés történt. A maghasadás tipikus kollektív jelenség, ahol a részecskekörrelációk meghatározó szerepet játszanak, és ezek pontos leírására nagy szükség van. A maghasadás vizsgálatára vonatkozó, az ELI-NP-nél végzendő kísérleteink célja ezen leírások pontosítása, hogy a modelljeink segítségével megoldásokat találjunk a társadalom számára égetően fontos kérdésekre is.

A társadalomnak szüksége van tiszta energiára, de a jelenlegi atomreaktorok sok hulladékot termelnek. A hulladékokat transzmütációval át lehet alakítani kevésbé veszélyes anyagokká. Szükség van a nukleáris anyagok pontos mérésére is. Ha például a $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ izotóparányt a reaktorokban használt fűtőelemekben pontosan lehetne mérni, akkor a fűtőelemek átrakását optimalizálhatnánk, így sokkal több energiát nyerhetnénk. Jelenleg

nem tudjuk pontosan ellenőrizni, hogy a korábbi nukleáris hulladékok milyen anyagokat tartalmaznak. Az ilyen kérdések megválaszolása nagy nemzetközi összefogással folyik.

Az ELI-NP-nél a nagyenergiás γ -sugárzásokkal végzendő méréseink során főként a fenti két témára, nevezetesen az óriásrezonanciák, illetve az atommaghasadás vizsgálatára fogunk koncentrálni. Ezért a továbbiakban ezt a két témát fejtem ki részletesebben.

Az óriásrezonanciák

Az óriásrezonanciák az atommag nagy frekvenciájú, sok nukleont (protont és neutron) magában foglaló kollektív rezgései. Az első óriásrezonanciát, a fent említett dipólus-óriásrezonanciát, nagy (10–30 MeV) energiájú γ -sugárzás rezonanciaszerű abszorpciójának megfigyelésével fedezték fel. Az abszorpció létrejöttének valószínűsége sokkal nagyobb, mint adódott annak, mint amekkorát egy nukleon mozgásával meg lehetett volna magyarázni. Maurice Goldhaber és Teller voltak az elsők, akik értelmezni tudták a jelenséget. E munkájukkal indították el az óriásrezonanciák kutatását, amelyek később jelentősen hozzájárultak az atommagok nagyenergiás gerjesztett állapotainak megértéséhez, és vizsgálatuk még jelenleg is a mag szerkezet-kutatások egyik legfontosabb irányát képezi.

Modelljük értelmében az elektromos dipólus sugárzás elnyelődését az atommag összes protonjának és neutronjának egymáshoz képest történő kollektív rezgésének gerjesztését okozza. A rezgések csillapodásáért és így a rezonancia kiszélesedéséért pedig az atommag bonyolultabb gerjesztéseire történő csatlakozás a felelős.

Csupán néhány korai kísérleti eredményt ismerve Goldhaber és Teller a következő feltevéssel élt: a protonok és a neutronok

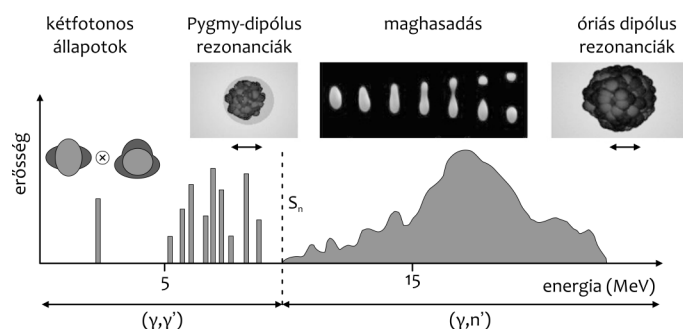
eloszlása egy-egy merev, de egymáson áthatolni képes gömbszerű eloszlás, amelyek egymáshoz képest rezeghetnek. Így magyarázatot adtak a rezonancia energiájának tömegszám-függésére (Goldhaber-Teller-modell).

A dipólus-óriásrezonanciát később megfigyelték a természetben előforduló összes stabil izotópnál. A γ -abszorpció valószínűsége a legtöbb esetben jól leírható egy Lorentz-görbével, amelynek átlagenergiája csak lassan változik a tömegszám függvényében, és az atomokat és atommagokat egyébként széles körűen jellemző héj-effektusokat szinte egyáltalán nem mutatja.

A dipólus-óriásrezonanciát Helmut Steinwedel és Hans Jensen szerint egy $\lambda=2R$ hullámhosszú állóhullámnak is elképzelhetjük az atommagon belül, ahol $2R$ az atommag átmérője. Az olyan magokban, amelyek állapotban forgási ellipszoid alakúak, a rezonancia két komponensre hasad fel: a nagy tengelynek megfelelő nagyobb hullámhosszú, tehát kisebb energiájú, és a kis tengelynek megfelelő rövidebb hullámhosszú, következésképpen nagyobb energiájú komponensre.

A fenti modelleket és azok paramétereit később az atommag folyadékcseppmodelljéből is sikerült levezetni. Az is kiderült, hogy valójában a Goldhaber-Teller- és a Steinwedel-Jensen-modellek szuperpozíciója az, ami a cseppmodellből adódik, és ez a kombináció írja le helyesen a kísérleti eredményeket is.

A rezgések létrejöttéhez szükséges visszatérítő erő a cseppmodellben szereplő ún. szimmetriaenergia-tagból származtatható. A cseppmodell e tagja azt fejezi ki, hogy a természetben előforduló atommagok a proton-neutron szimmetriára törekszenek. Bármely irányú eltérés az egyenlő proton- és neutron-számtól az atommag energiájának növekedéséhez vezet. A protonok és a neutronok egy-



1. ábra • Fotoindukált magreakciókkal gerjeszthető kollektív atommaggerjesztések, illetve magátalakulások

mástól történő eltávolításával tehát a rendszer energiája növekszik. A növekedés mértékéből a visszatérítő erő kiszámítható.

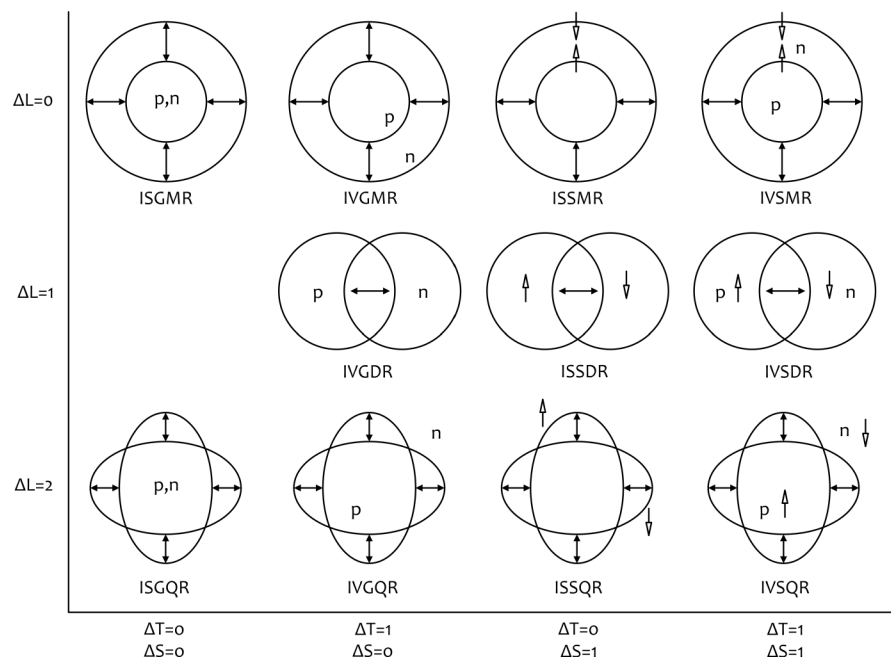
A folyadékcseppmodell alapján azonban az atommag további kollektív rezgési módusai is kiadódtak. A módusok aszerint osztályozhatók, hogy hány pólusú a geometriai alakzat deformációja, illetve, hogy bennük a protonok és a neutronok azonos vagy ellentétes fázisban rezegnek-e. Ezek alapján a korábban tárgyalt dipólus-rezonancián kívül beszélhetünk még monopólus-rezonanciáról, ami gömbszerű, ütemes felfúvódást, lélegző rezgést, illetve kvadrupólus-rezonanciáról, ami megnyúlt és lapult alak közötti oscillációt jelent.

Mindegyik rezonancia esetén beszélhetünk ún. izoskalár rezgési módról, amikor a protonok és a neutronok azonos fázisban rezegnek, illetve izovektor módról, amikor ellentétes fázisban rezegnek. A lehetséges

módusok számát tovább növeli, ha figyelembe vesszük a rezgés során a protonok és neutronok spinjeinek (perdűleteinek) relatív irányát is. Az óriásrezonanciák egyszerűsített összefoglalása a 2. ábrán látható.

A dipólus-óriásrezonancia felhasználása a maganyag állapotegyenletének pontosítására

Napjaink magfizikájának legnagyobb beruházásai a már ismert elemek eddig ismeretlen neutrongazdag izotópjainak előállítását és szerkezetének megértését célozzák. A magtérkép egy hatalmas, eddig ismeretlen, több ezer új izotópot tartalmazó tartományának a megismerését tűzik ki célul, amit jelenleg *terra incognita* (ismeretlen terület) néven emlegetnek. A neutrongazdag maganyagra vonatkozó pontos ismereteink hiánya miatt jelenleg még a neutronelhullatási vonalat, a *terra incognita* határát sem ismerjük pontosan.



2. ábra • Az óriásrezonanciák folyadékcseppmodellen alapuló osztályozása

san. Az elméleti becslés pontossága a legalaposabban ismert ónizotópokra is csak mintegy ± 10 tömegegység.

Természetesen felmerül a kérdés, hogyan határozhatnánk meg pontosabban a nukleáris stabilitás határát, illetve hogyan pontosíthatnánk a neutrongazdag maganyag állapotegyenletét. A stabil atommagokban megfigyelt külső, neutrongazdag réteget, az ún. neutronbőrt már jelenleg is tanulmányozhatjuk. A neutronbőr-vastagságra vonatkozóan a jelenlegi legjobb elméleti számítások eredményei között két-háromszoros eltérés van. Igaz, hogy ez a neutronbőr-vastagság – amelyet a neutron- és protoneloszlás sugarainak különbségeként értelmezhetünk – egyrészt nagyon kicsi, az atommag sugarának mindössze néhány százaléka, másrészt nagyon nehezen mérhető.

A folyadékcseppmodell alapján azt várhatnánk, hogy a neutron- és protoneloszlás ilyen különbségének valamilyen kapcsolatban kell lennie a szimmetriaenergia értékével. A legújabb elméleti munkák alapján valóban határozott összefüggést figyeltek meg a szimmetriaenergia és a neutronbőr-vastagság között.

Ezek alapján a neutronbőr-vastagság pontos mérésével pontosabbá tehetjük a neutrongazdag maganyag állapotegyenletének szimmetriaenergia-tagját, aminek ismeretében a neutrongazdag atommagok szerkezetére pontosabb előrejelzéseket adhatunk.

Az elmúlt évtizedek során több olyan, az óriásrezonanciák gerjesztését felhasználó módszert is kidolgoztak (tunk), amelyek segítségével adatokat kaphatunk az atommagok neutronbőrének vastagságára. Ezek egy részét, a törpe (kisenergiás) dipólus-rezonanciák (az egyszerű kép értelmében a neutronbőr rezeg az atommag többi protonjához és neutronjához képest) vizsgálatát, illetve a

dipólus-polarizálhatóság pontos mérését – amihez szintén a kisenergiás dipóluserőségek pontos kimérése szükséges – tervezzük majd felhasználni az ELI-NP-nél végzett méréseink során is.

Az atommaghasadás kísérleti vizsgálata

Az atommaghasadás felfedezése óriási lendületet adott a magfizikai kutatásoknak. Az atommag cseppmodelljével a maghasadás jellemzőinek értelmezése igen jól sikerült. *Lise Meitner*, a maghasadás egyik felfedezője a folyamatot az élő sejtek osztódásához, az élet keletkezéséhez hasonlította. Ez a felfedezés a magfizika robbanásszerű fejlődéséhez vezetett.

A folyadékcseppmodell értelmében az atommagok hasadását egy elektromosan töltött folyadékcsepp széthasadásaként képzelhetjük el. Elektromos töltés nélkül egy folyadékcsepp a felületi feszültségből származó energia minimalizálására törekszik, ezért a lehető legkisebb felületű, azaz gömb alakú egy súlytalan folyadékcsepp. Az atommagot azonban a protonok töltése miatt töltött folyadékcseppnek kell elképzelni. Az egyforma töltések taszítása miatt energetikailag kedvezőbbé válik a csepp számára, ha deformálódik, és így a töltések egymástól távolabb kerülhetnek. Így érthető, hogy a nagy rendszámú atommagok alakja általában eltér a gömbtől.

Ha az atommagnak például egy neutron hozzáadásával további energiát adunk, akkor az egyre deformáltabbá válik, és végül széthasad. A két hasadvány közötti erős taszítóerő nagy sebességre gyorsítja fel a hasadványokat. A hasadványok lefékeződésekor keletkező hő hasznosítja az atomreaktorokban.

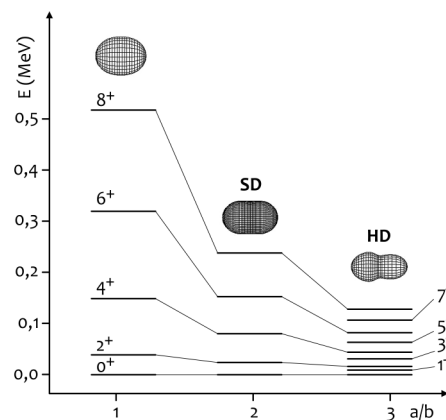
Az atommagok széthasadásakor előforduló egzotikus magalakokról sajnos nem tudunk „fényképfelvételeket” készíteni, mivel az atom-

mag túl kicsi, és a maghasadás túlságosan gyorsan történik. Lehetséges azonban, hogy a teljes széthasadás előtt az atommag még valamiféle erősen deformált, átmenetileg stabil, ún. metastabil állapotba kerül, és csak utána hasad szét. Nehéz atommagok hasadásakor valóban megfigyelték, hogy bizonyos esetekben a maghasadás nem történt meg közvetlenül a magreakció lezajlása után, hanem csak néhány ns-mal (10^{-9} s) vagy néhány ms-mal (10^{-3} s) később. Ezeket az állapotokat hasadási izomer állapotoknak nevezték el. Az ilyen állapotoknak már sikerült kísérletileg meghatározni az alakját.

Az atommagok alakjának kísérleti meghatározása

Egy deformált atommag a molekulákhoz hasonlóan foroghat is. E forgó kvantummechanikai rendszereknek a perdületüktől függően csak jól meghatározott gerjesztett állapotok lehetségesek: $E = \hbar^2/(2\theta) J(J+1)$, ahol E a gerjesztett állapot energiáját, \hbar a Planck-féle állandót, θ az adott molekula vagy atommag tehetetlenségi nyomatékát, J a perdületét jelöli. A fenti gerjesztett állapotok (forgási sávok) mérésével meghatározhatjuk az atommagok tehetetlenségi nyomatékát. Merve elipszoidnak feltételezve az atommagot, annak tehetetlenségi nyomatéka a kis- (b) és nagy- (a) tengely segítségével a mechanikából ismert módon kifejezhető. Adott tehetetlenségi nyomatékhoz így adott magalak rendelhető.

A 3. ábrán feltüntettem egy tipikus transzurán atommag alapállapotához tartozó forgási állapotokat (az alapállapot forgási sávot), illetve a szuperdeformált (SD, ahol $a/b=2$), valamint a hiperdeformált (HD, ahol $a/b=3$) állapotok forgási sávjait is. HD állapotok esetén az elméleti előrejelzések értelmében az atommag már nem tükröszimmetrikus, ezért



3. ábra • Különböző alakú atommagok tipikus forgási gerjesztett állapotai

páratlan perdületű állapotokkal is ki kell egészíteni a forgási sávot, ugyanúgy, mint a molekulák esetén.

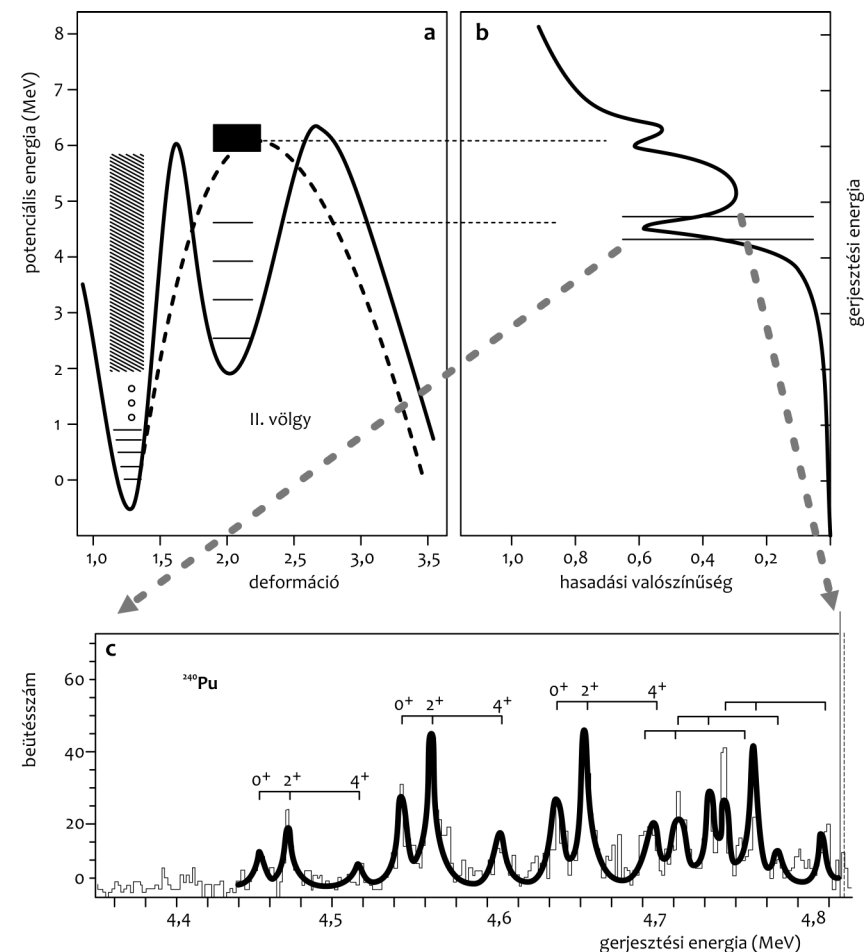
Az atommagok alakjának meghatározásához tehát meg kell mérnünk a fenti gerjesztett állapotok energiáit. A ^{240}Pu esetén nagyon gondos magspektroszkópiai vizsgálatokkal sikerült az izomerállapotra épülő forgási sávot is meghatározni. A sáv tehetetlenségi nyomatékából az következett, hogy valóban erősen deformált (szuperdeformált), 2:1 tengelyarányú állapotról van szó.

A 4a. ábrán szaggatott vonallal a ^{240}Pu hasadó atommag cseppmodell alapján várható potenciális energiáját (hasadási potenciált) tüntettem fel a magtengelyek arányának függvényében. Ebből lehet megállapítani, hogy egy atommag milyen alaknál éri el a minimális energiájú (stabil vagy metastabil) állapotot. Ezzel a potenciállal nem lehet értelmezni a hasadási izomer állapotot. Annak értelmezéséhez a nukleonok között ható magerők pontosabb figyelembevétele is szükségessé vált. A pontosabb számítások eredményét a 4a. ábrán folytonos vonallal tüntettem fel. Az itt mutatkozó második minimum

(völgy) folytán ez már alkalmas a hasadási izomer állapot értelmezésére.

A hasadványokat összetartó hasadási potenciál magasságát és szélességét a hasadási valószínűségeknek a gerjesztési energia függvényében történő mérésével határozhatjuk meg. A potenciált maximumánál kisebb gerjesztési energia esetén a maghasadás csak alagúteffektussal történhet meg, ezért annak a valószínűsége az energia csökkenésével exponenciálisan csökken (4b. ábra).

A hasadási valószínűséget jó energiafelbontással mérve, abban rezonanciaállapotokat is megfigyelték. A rezonanciákat a II. völgybeli gerjesztett állapotokon keresztül történő ún. rezonáns alagúteffektus segítségével sikerült értelmezni. A hasadási valószínűségben megfigyelt forgási sávok is arra utaltak, hogy például a ^{240}Pu atommag hasadása II. völgybeli szuperdeformált állapotokon keresztül történt. Az erre vonatkozó eredményeinket a 4c. ábra szemlélteti.



4. ábra • A ^{240}Pu atommag hasadási potenciálja a deformáció függvényében (a), sematikus hasadási valószínűsége a gerjesztési energia függvényében (b) és mért hasadási valószínűsége (c)

Hiperdeformált állapotok kimutatása Debrecenben

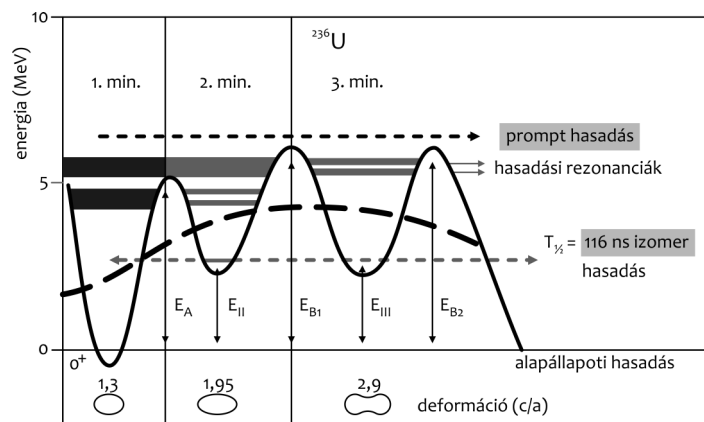
Az elmúlt évtizedekben a hiperdeformált állapotok γ -spektroszkópiai kimutatása nagy erővel folyt, de mindeddig sikertelenül. Különböző anyagokból készült, néhány mikrométer vastag céltárgyakat nagy energiájú nehéz ionnal bombáznak, és az ennek hatására kibocsátott milliónyi γ -fotonból igyekeznek azokat összeválogatni, amelyek ugyanazon magtól származnak. A lövedék hatására felpörgő mag meg is nyúlhat, erről az egymás után kibocsátott több tucatnyi γ -kvantum energiasorozata árulkodik.

Ezen állapotok vizsgálatára nagy hatásfokú és jó energiafelbontású, ugyanakkor nagyon költséges spektrométereket építettek mind Európában (Euroball), mind az Amerikai Egyesült Államokban (Gammasphere). Sebesen pörgő magok hiperdeformált állapotainak megfigyeléséről először 1993-ban számoltak be, azonban az eredményeket 1995-ben visszavonták. Elméleti számítások arra is utaltak, hogy nehéz, hasadó magokban gyors

pörgetés nélkül is kialakulhatnak „körte alakú” hiperdeformált állapotok, amelyek 100 és 132-es tömegszám környéki darabokra szeretnek hasadni. Az 5. ábrán a ^{236}U atommagra számított hasadási potenciált ábrázoltam. A számítások értelmében a hasadási potenciálnak ez esetben nemcsak 2. völgye, hanem 3. völgye is várható volt.

Az MTA debreceni Atommagkutató Intézetének ciklotronlaboratóriumában korábban egy Hollandiából kapott mágneses spektrométert telepítettünk. Ez repülő ionokat tud energia szerint pontosan szétválogatni. Holland (NWO) és magyar (OTKA, GVOP) pénztámogatásokat felhasználva a spektrométerhez modern elektronikus detektort és adatgyűjtő rendszert építettünk.

A hasadó magok hiperdeformált állapotai kis energiájú, könnyű ionnal való bombázással gerjeszthetők, és a másodperc törtörése alatt széthasadnak. A reakció csak a hiperdeformált forgási állapotot gerjesztő energián megy végbe, és észleléséhez gyors egymásutánban kell a reakció során kirepülő részecskét és a hasadási terméket megfigyelni. Előbbi a



5. ábra • A ^{236}U atommag hasadási potenciálja a mag deformációjának függvényében.

A nyilak a 3. völgybeli hiperdeformált forgási sávokon keresztül történő rezonáns alagúteffektust szimbolizálják.

mágneses spektrométerrel, utóbbit az Atomkiban kifejlesztett gáztöltésű detektorokkal végeztük. E viszonylag egyszerű berendezések segítségével mértük a ^{236}U atommag hasadási valószínűségét a gerjesztési energia függvényében, és így először sikerült hiperdeformált forgási sávokat megfigyelni. Első eredményeinket 1997-ben, egy Debrecenben rendezett nemzetközi szimpóziumon mutatuk be, 1998-ban pedig a legrangosabb fizikai folyóirat közölte azokat. A témakör iránti nagy érdeklődés miatt hasonló konferenciákat 2000-ben és 2005-ben is rendeztünk.

Időközben sikeres együttműködést alakítottunk ki a müncheni Ludwig Maximilians Egyetem kutatóival, amelynek célja az aktinoida tartományba eső atommagok hasadási valószínűségeinek és hasadási potenciáljainak (a két fragmentumot hiperdeformált alakban tartó kölcsönhatás jellemzője) szisztematikus vizsgálata volt. Eredményeinkről magyar nyelven is és kézikönyvben is beszámoltam (Krasznahorkay, 2007, 2009, 2011).

A maghasadás vizsgálatára vonatkozó terveink az ELI-NP-nél

Az atommag egy olyan mikroszkopikus laboratórium, amelyben számos érdekes természeti jelenség tanulmányozható. Például az a kérdés is, hogyan jön létre a kollektív mozgás az egyéni szabadsági fokokból. Adott esetben egyszerű rezgések és forgások sok nukleon összehangolt mozgásként, vagy az alak sokféle megváltozása, és akár az egész mag kettéhasadása következtében. Milyen kölcsönhatások működnek az egyes alkotóelemek között, ezek milyen kollektív erőterekre vezetnek, és hogyan függenek össze a rendszer dinamikájával és szimmetriáival?

Munkánk során ezeket a kérdéseket tervezük megvizsgálni. Felkutatjuk a magban fel-

lépő csoportosulásokat (a mag fűrtösödését), azok mozgását és szétválását, vagyis a mag hasadását. Kikutatjuk, milyen összefüggés van a magot alkotó neutronok és protonok száma, valamint a mag vibrációja között. Mi a közös gyökere a nukleonok egyedi mozgásának, az egész mag folyadékszerű rezgésének és forgásának, valamint fűrtösödésének és felbomlásának. Mindezt sok atommagon szisztematikusan végrehajtott (hasadási, ütközési és bomlási) kísérlettel, és hozzájuk kapcsolódó elméleti vizsgálatokkal reméljük elérni.

A γ -indukált hasadás segítségével szelektíven gerjeszthetők a könnyű aktinoida atommagok széthasadása előtti, erősen deformált állapotai, amelyek vizsgálatával szeretnénk jobban megérteni a dimbes-dombos potenciálisenergia-felület szerkezetét ezekben az atommagokban. A mérések szelektivitása abból fakad, hogy a hasadást létrehozó γ -sugárzások csak jól definiált kis impulzusmomentumot visznek be az atommagba, amely állapotok relatíve kis sűrűsége még a hasadási gát környékén is megengedi az állapotok egymástól független vizsgálatát. Nagy felbontású méréseket tervezünk, hogy a potenciálfelület első, második és harmadik minimumában elhelyezkedő, jól meghatározott kezdeti állapotok bomlásából származó hasadványok tömegszámát, rendszámát és energiáját is pontosan megmérhessük.

Méréseink tudományos célja, hogy az ezekre az állapotokra elméletileg előre jelzett fűrtösödési/csomósodási effektusokat megértsük, és adatokat nyerjünk a többdimenziós hasadási potenciál ún. hideg völgyeire, amelyeken keresztül a maghasadás jól meghatározott rendszámú és tömegszámú hasadási termékeket eredményez. Vizsgálni szeretnénk a szuper- és hiperdeformált állapotok hasadási dinamikáját, és az ezekben az álla-

potokban fellépő csomósodási effektusokat. Másrészt tervezzük az aktinoida-tartományba eső potenciálisenergia-felületek alakjának feltérképezését és azok paramétereinek pontos meghatározását. A hasadási gátak ezen paraméterei alapvető bemenő adatok a negyedik generációs erőművekben tervezett tórium-urán égetési ciklus szimulálásához.

A fotohasadás szelektivitása lehetővé teszi a hasadási gát második és harmadik minimumához rendelhető hasadási rezonanciák nagy felbontású vizsgálatát. Az SD- és HD-állapotok transzmissziós rezonancia spektroszkópiával történő tanulmányozása hasznos lehet a jelenleginél sokkal tisztább energiatermelés szempontjából is. Felmerült a nukleáris hulladékok hosszú élettartamú, leginkább veszélyes komponensei transzmutációjának lehetőségére is a HD-állapotokon keresztül történő hasadási folyamat kontrollálásával.

Egy másik kutatási terület, amelyet vizsgálni szeretnénk: a hármas hasadás, amikor két nehéz és egy könnyű töltött részecske (például α -rész) keletkezik, illetve az igazi hármas hasadás, amikor három kb. egyforma tömegű hasadási termék keletkezik. Érdekes lenne még az erősen deformált hasadási termékek által intenzív töltött részecske – elméletileg előre jelzett – kibocsátásának vizsgálata is.

Az ELI-NP-nél tervezett méréseink előkészítése érdekében nemrég a ^{238}U atommag fotohasadását vizsgáltuk a hasadási gát alatti energiák esetén a fotonenergia függvényében

a Duke Egyetemen (USA) épített, a világon jelenleg legnagyobb intenzitású, foton-elektron Compton-visszaszóráson alapuló γ -forrás, a HI γ S (High Intensity γ Source) segítségével (Csige et al., 2013). A méréseket a 4,7–6,0 MeV γ -energia-intervallumban 3%-os relatív energiafelbontással végeztük. 5,1 és 5,6 MeV körül gyenge hasadási rezonanciákat figyeltünk meg. A mérési eredményeink elméleti értelmezése és a háromvölgyes hasadási gát paramétereinek meghatározása magreakció-programmal történő számítások eredményeivel való összevetéssel történt. Az eredményeink összhangban vannak a ^{234}U és ^{236}U esetén korábban bevezetett mély 3. völgy paramétereivel, de ellentmondanak a legújabb elméleti számítások eredményeinek.

Az ELI-NP-nél tervezett, a fentini egy nagyságrenddel jobb, 0,3%-os energiafelbontás és jóval nagyobb intenzitású γ -nyaláb minőségileg új lehetőségeket fog teremteni a fenti jelenségek jelenleginél sokkal pontosabb vizsgálatára. Ha választ találunk ezekre a kérdésekre, nemcsak a természetet ismerjük meg jobban, hanem hasznosítható tudásra is szert teszünk. Az atommagok viselkedésének és reakcióinak pontos megértése szükséges ahhoz, hogy emberhez méltó élet lehessen a Földön a köolajkészletek kimerülése után is.

Kulcsszavak: *óriásrezonancia, neutronbőr-vastagság, állapotegyenlet, maghasadás, hiperdeformált állapot, tisztább energiatermelés*

IRODALOM

- Csige Lóránt – Krasznahorkay Attila et al. (2013): Exploring the Multihumped Fission Barrier of ^{238}U via Sub-barrier Photofission. *Physical Review C*. 044321. DOI: 10.1103/PhysRevC.87.044321
Krasznahorkay Attila (2007): Egzotikus atommagok, *Természet Világa*, 5, 214–216.
Krasznahorkay Attila (2009): Egzotikus alakú atom-

- magok. In: Vértés A. (szerk.): *Szemelvények a nukleáris tudomány történetéből*. Akadémiai, Bp., 329. o.
Krasznahorkay Attila (2011): *Tunneling through Triple-humped Fission Barriers: Handbook of Nuclear Chemistry*. Springer-Verlag, Berlin, 281–318.
URL1: <http://www.eli-np.ro/>
URL2: <http://www.eli-np.ro/documents/ELI-NP-WhiteBook.pdf>

FÉNY ÉS NANORENDSZEREK ULTRAGYORS KÖLCÖNTHATÁSA

Dombi Péter

PhD, tudományos főmunkatárs,
MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont,
Lendület Ultragyors Nanooptika Kutatócsoport,
ELI-HU Nonprofit Kft.
dombi.peter@wigner.mta.hu

Csete Mária

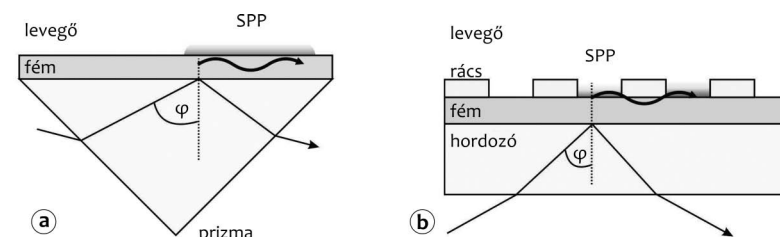
PhD, tudományos főmunkatárs,
Szegei Tudományegyetem,
Optika és Kvantumelektronika Tanszék
Nanoplazmonika Kutatócsoport
mcsete@physx.u-szeged.hu

*Fény és nanorendszerek kölcsönhatása:
plazmonkeltés*

Különböző anyagok határfelületén fénnel felületi hullámok gerjeszthetők. Ezek az ún. *felületi plazmon polaritonok* a fém-dielektrikum határfelületén a (fény- vagy elektron-) besugárzás által az elektromágnesben keltett kollektív oszcillációkból származó elektromágneses hullámok. Különleges tulajdonságuk, hogy a határfelületen nagy az intenzitásuk, attól távolodva azonban nanométeres skálán lecsengenek. Ezzel szemben a felület mentén történő terjedésük során lassabban csengenek le (1a. ábra és Kroó et al., 1991), bizonyos esetekben akár milliméteres távokat tudnak megtenni, mielőtt a veszteségek miatt

elhálnak. A felületi plazmonokról egységes kép kialakítását a fémek optikai tulajdonságainak Drude-féle értelmezése tette lehetővé. A plazmonok diszperziós karakterisztikája eltér a fénytől, ezért a fénnel történő gerjesztésükhöz speciális csatolási eljárásokat dolgoztak ki: ezek közé tartozik a prizmán keresztüli csatoláson alapuló Kretschmann-elrendezés (1a. ábra) vagy az optikai ráccsal történő csatolás (1b. ábra). A kísérleti technika egyszerű: a monokromatikus fénnel megvalósított felületi plazmongerjesztésnél a visszavert nyaláb intenzitásában (1a. ábra) minimum detektálható azon orientációban, ahol a fény energiája a felületi hullámba csatolódik.

A sík fémfelületek után először random és periodikus mintázatot tartalmazó felülete-



1. ábra • A fény felületi plazmon polaritonokba (SPP) csatolása (a) Kretschmann-féle prizmás elrendezésben vagy (b) a fém-dielektrikum határfelületén elhelyezkedő periodikus mintázattal

ken tanulmányozták a felületi plazmon polaritonok terjedését, és a diszperziós görbéken a fotonikus kristályokkal analóg tiltotsáv-jelenségeket mutattak ki. A hazai felületi plazmonos kutatásokat *Króó Norbert* és *Szentirmai Zolt* alapozták meg a 80-as években.

A korai vizsgálatok már előrevetítették, hogy a fény hullámhosszával összemérhető periódusú plazmonikus struktúrákkal a fémrétegek spektrális tulajdonságai hangolhatóak, ami a felületi plazmonok gerjesztésében rejlő egyik legfontosabb, alkalmazási szempontból is fontos tudományos lehetőség. A plazmonikus spektrumszerkesztés nagy szabadsági fokkal történő megvalósítására a komplex struktúrák a legalkalmasabbak, azaz a hullámhossznál lényegesen kisebb objektumokból álló, ugyanakkor a hullámhosszal összemérhető periódusú struktúrák (2a. ábra).

Egy további nagyon fontos tulajdonság, hogy mivel a plazmon polaritonok hullámhossza rövidebb, mint a gerjesztésükre alkalmazott fényé, lehetővé válik a fény diffrakciós limit által meghatározottnál lényegesen kisebb régiókba koncentrációja. Hazai eredmény egy olyan komplex litográfiai eljárás kidolgozása, amellyel nagy felületen hozhatóak létre a spektrum nagy szabadsági fokkal hangolá-

sára alkalmas fém mintázatok, kolloid gömbök monorétegének laterálisan modulált intenzitáseloszlású nyalábbal történő kivilágításával (Sipos et al., 2014).

Nanorészecskéken lokalizált plazmonok

A felületi plazmonikus struktúrák vizsgálata az utóbbi tizenöt évben a fény hullámhosszával lényegesen kisebb nanoobjektumokon gerjeszthető ún. *lokalizált plazmonokat* kísérő spektrális és közeltérbeli jelenségek felderítésével folytatódott. Ekkortól számíthatjuk a plazmonika új tudományának megjelenését és gyors fellendülését, amelyet a nanotechnológia és a közeltér teljes feltérképezésére alkalmas mikroszkópiák (például: STM, SNOM) és a numerikus szimulációs eljárások fejlődése tett lehetővé.

A nanorészecskék spektrális hatása már évszázadok (sőt évezredek) óta ismert volt, műtárgyak arany-nanokolloidokkal történő színezésének módszerét számos helyen alkalmazták, már a római korban is (például a Lükurgosz-kehely). A lokalizált plazmonok mögött a fém nanorészecskék elektronjainak olyan kollektív rezgése áll, amelyet egy erős nanolokalizált tér felépülése és a távolságba kisugárzás során jellegzetes abszorpciós és

szórási spektrum megjelenése kísér (2a. ábra). A spektrális hatások, vagyis a nanorészecskéken elnyelt és a szórt fény színe a nanoobjektumok alakjával, méretével és alakjával, valamint a környezet optikai tulajdonságaival kiválóan hangolhatóak. A Maxwell-egyenletek skálázhatóságából következik, hogy a nanoobjektumok antennaként viselkednek, és ún. multipoláris módusok gerjeszthetőek rajtuk. Optimalizált konfigurációban, azaz a szerkezeti és kivilágítási paraméterek megfelelő választásával a multipoláris módusok szelektív gerjesztése is megvalósítható (Csete et al., 2014).

A plazmonikus rezonanciák különböző anyagok gerjesztési sávjába hangolhatósága lehetővé teszi az abszorberekkel és emitterekkel való kölcsönhatások erősítését. A lokalizált és terjedő plazmonikus módusok csatolása eredményeként megjelenő keskeny Fano-vonalak a geometriai paraméterekkel finoman hangolhatóak (Luk'yanchuk et al., 2010). Ezen elv számos alkalmazási területet forradalmasított, előrevetítve a fény–anyag kölcsönhatás teljes kontrolljának lehetőségét. A legfontosabb alkalmazások közé tartozik a plazmonikus erősített fotodetektálás, bioszenzorizáció, fény- és elektronemisszió (Dombi et al., 2013), lézertény-generálás és supersugárzás, valamint a nemlineáris folyamatok indukálása, vagy például az attoszekundumos tudomány alapjául szolgáló magasrendű felharmonikusok keltése.

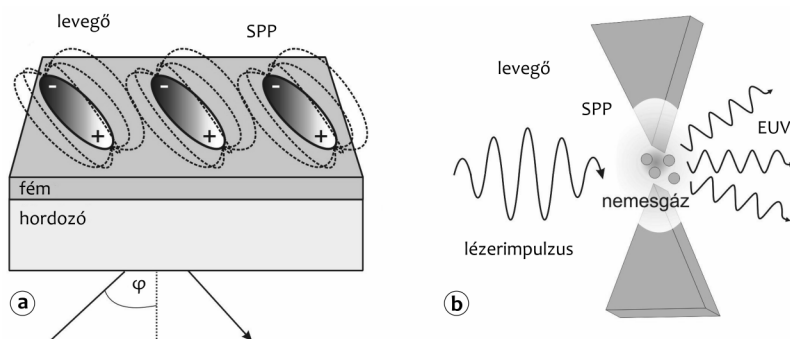
Az interdiszciplináris alkalmazási területek számára lassanként elérhetővé válnak a kompakt, nanoplazmonikus jelenségeken alapuló eszközök. Ezek körében nemrég lehetővé vált infravörös egyfoton-detektorok hatásfokának megduplázása (Csete et al., 2013). A plazmonikus struktúrák fotodetektorokba integrálásával biztosítható a polarizációban és a fény pálya-impulzusmomentumban

kódolt kvantuminformáció kinyerése is a kvantuminformaticai alkalmazások során. Új plazmonikus bioszenzorizációs platformokat dolgoztak ki, ezek közül az egyik legígéretesebb a fluoreszcencia erősítésén alapul, mivel az abszorpció és az emisszió is plazmonikusan erősíthető a kettős rezonanciát mutató plazmonikus struktúrákkal (Giannini et al., 2010). A plazmonikusan erősített fluoreszcencia lehetővé teszi a specifikusság biztosítását, és az érzékenység növelése mellett a molekulalokalizáció precizitásának javítását is, akár egyetlen molekula mikroszkópos detektálása során.

A plazmonikus módusok fontos előnye, hogy a közelterükben nagy erősítés érhető el a Purcell-effektus révén, mivel a módustér fogat inherensen kicsi, ugyanakkor az ún. plazmonikus spektrumszerkesztéssel a jósági faktor javítható. Újonnan felívelő tudományterület a kvantumplazmonika, a rezonátor-quantum-elektrodinamika plazmonikára adaptálása fokozatosan lehetővé teszi plazmonikus erősítők és lézerek kialakítását. Rezonátorként mag-héj nanoobjektumokat, Bragg-rácsokat, komplex struktúrából képezett plazmonikus kristályokat alkalmaznak. A plazmonikus struktúrák a magasrendű felharmonikusok keltésében, az attoszekundumos tudományban is fontos szerepet tölthetnek be (2b. ábra).

Az ultragyors tudomány napjainkban

A rövid impulzusú lézerekkel kapcsolatos tudományterület is hatalmas átalakuláson ment keresztül az elmúlt huszonöt évben a lokalizált plazmonokkal és a felületi plazmon polaritonokkal foglalkozó tudományág, a plazmonika fejlődésével párhuzamosan. A lézer hatvanas évekbeli feltalálását követően rövid időn belül megjelentek az első ún. módusszinkronizált lézerek is, amelyek minden addiginál rövidebb ideig tartó fényfelvillanásokat



2. ábra • (a) Lokalizált plazmonok gerjesztése felületre helyezett nanoobjektumokon. (b) Extrém UV (EUV) sugárzás keltése háromszög alakú antennapárok intenzív plazmonikus közeltérben

(ún. lézerimpulzusokat) tudtak kibocsátani. A világrekord rövidségű lézerimpulzus már a nyolcvanas évek végén mindössze 6 femtoszekundumos volt ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$). Az egyre rövidebb lézerimpulzusok előállítása természetesen nem a lézerfizikusok valamiféle öncélú játéka, hanem a természet leggyorsabban lejátszódó folyamatainak megfigyelésére szolgáló módszer. Számos kémiai átalakulás és reakció, az atomfizika számos folyamata a belső héjak elektronjainak átmenetétől kezdve az Auger-folyamatokon keresztül a fotoionizációig femtoszekundumos vagy annál is rövidebb (attoszekundumos, $1 \text{ as} = 10^{-18} \text{ s}$) időskálán megy végbe. Mindezen folyamatok időfeloldott vizsgálatát nevezik ultragyors tudománynak.

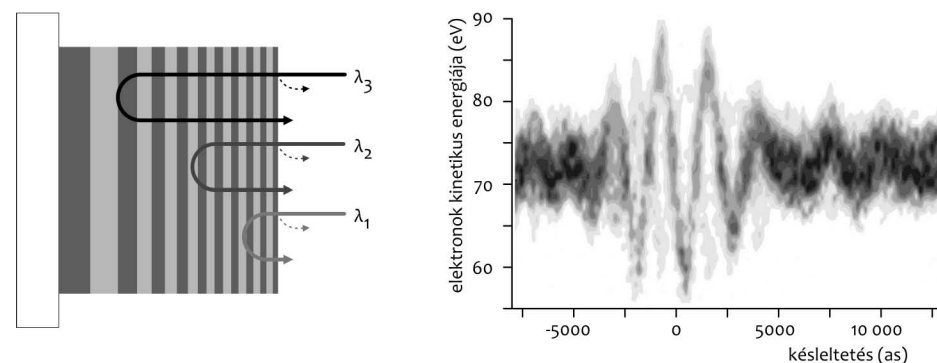
Az alapp probléma a következő: a természet bármilyen ultragyors folyamatának időbontott vizsgálatához egy, a vizsgálandó folyamatnál gyorsabb, kontrolláltan előállítható esemény szükséges (egy analógia: egy vonalzóval is olyan tárgyak mérhetőek csak le, amelyek dimenzióinál a vonalzó beosztása finomabb). Ilyen eszköz a femtoszekundumos „világban” is létezik, de kizárólag a rövid lézerimpulzusok formájában. A kilencvenes évek éppen ezért lett a femtokémia évtizede: sok ultragyors kémiai folyamat 100 femtoszekundum alatti időskálán játszódik le. Ezeket kiválóan lehetett az akkoriban széles körben elterjedő, egyszerűen kezelhető lézerekkel gerjeszteni („pumpálni”), majd az adott kémiai rendszer állapotát egy, a pumpanyalábból leválasztott, ahhoz képest femtoszekundumos pontossággal késleltetett impulzussal letapogatni (szondázni). A rendszernek a késleltetés függvényében mért valamely tulajdonságából (például fluoreszcenciaspektrumából) rajzolódik ki a folyamat femtoszekundumos pontosságú lefutása. Innen származik ennek a funda-

mentális vizsgálati módszernek az elnevezése: pumpa-szonda-spektroszkópia, mely aztán *Ahmed Zewail* 1999-es kémiai Nobel-díját megalapozó módszerre nőtte ki magát. (Az így vizsgálható folyamatok elképesztő gyorsaságához egy adalék: elektronikus eszközökkel ennél három-négy nagyságrenddel lassabb folyamatok oldhatóak csak fel időben.)

A kilencvenes években újabb találmány jelent meg, amely a rövid lézerimpulzusok szempontjából (mindenféle túlzás nélkül) forradalmi jelentőségű: a Ti:zafir-lézerek (titánnal adalékolt zafirkristály). Az ilyen lézer 800 nm körüli hullámhosszához tartozó optikai ciklushossz 2,7 fs, ami az impulzus hosszát is korlátozza. Egy 800 nm-es lézerrel tehát nem lehet közvetlenül attoszekundumos impulzust keltetni. Van azonban egy egyszerű (nek tűnő) megoldás: a Fourier-szintézis. Ha ugyanis ilyen intenzív femtoszekundumos lézerimpulzusok nemesgázatomokkal hatnak kölcsön, akkor a lézerfrekvencia meglepően magasrendű felharmonikusai állíthatóak elő, tipikusan akár a századik harmonikus rendig is, vagyis egészen a lágyröntgen-tartományig. A felharmonikusok intenzitása és újabb mérések szerint a fázisuk is állandó bizonyos spektrális tartományban. Innen már csak egy lépés az attoszekundumos impulzusvonulatok szintetizálása: sok felharmonikus azonos fázissal összeadva rövid impulzusokból álló vonulatokat kapunk. Ezt az elképzelést 1992-ben publikálta a KFKI-s *Farkas Győző* és *Tóth Csaba*, azonban a felismerést nem követhették tetek: nem voltak elegendően rövid impulzusú, megfelelően intenzív lézerek a megvalósításhoz.

Nemsokára azonban egy újabb hungarikum jelent meg szintén a KFKI-ban *Krausz Ferenc*, *Szipöcs Róbert* és *Ferencsik Kárpát* jóvoltából, majd az ezen alapuló közel évtizedes

lézerfejlesztési munka végül lehetővé tette attoszekundumos impulzusok 2001-es bécsi előállítását. A találmányt fáziskorrigáló tükröknek (*chirped mirror*, lásd 3a. ábra) hívják, amelyet itt sajnos nem tudunk részletesebben bemutatni. Ezzel a találmánnyal, az erre épülő lézerekkel megnyílt az út a kísérleti attofizika előtt, amely például lehetővé teszi belső atomi elektronok dinamikájának vizsgálatát. Csak egy példa 2002-ből: Auger-elektronok segítségével sikerült kripton egy M-héjbeli vakanciájának élettartamát közvetlenül megmérni, ami 7,9 (+1,0/-0,9) fs-nak adódott, és ez már joggal nevezhető attoszekundumos pontosságnak (Drescher et al., 2002). E kutatások másik látványos eredménye az a mérés, amellyel egy (látható tartománybeli) femtoszekundumos fényimpulzus elektromos terének lefutását tették attoszekundumos időskálán láthatóvá (3b. ábra). Az atom- és molekulafizikában az attoszekundumos módszerek használata azóta is több jelentős felfedezést eredményezett (Goulielmakis et al., 2004).



3. ábra • „Made in Hungary” – a fáziskorrigáló tükrök működési elve (balra). A széles spektrumú rövid lézerimpulzus különböző λ hullámhosszú spektrális komponensei (színei) a dielektrikumrétegstruktúra különböző mélységeiből verődnek vissza. A tükrök diszperziója a rétegvastagságok optimalizálásával így bizonyos korlátok között tetszőlegesen szabályozható, $\lambda_3 > \lambda_2 > \lambda_1$. Jobbra egy mindössze 5 fs-os rövidségű lézerimpulzus elektromos terének időbeli lefutása látható (a mérési módszer szerint ez lineárisan áttanszformálható fotoelektronok kinetikus energiájává).

Ultragyors plazmonika és egy lehetséges alkalmazás, az optikai tranzisztor

Attoszekundumos folyamatok azonban nem csak fény és atomok/molekulák kölcsönhatása során jelennek meg. A gyakorlati alkalmazások szempontjából sokkal fontosabb eset, amikor a rövid lézerimpulzusokkal fém-nanostruktúrákat világítunk meg. A nanorészecskéken létrejövő plazmonoszillációk, az elektronok kollektív viselkedése szintén néhány száz attoszekundumos időskálán épül fel, és általában femtoszekundumos időskálán cseng le. Ha ezeket a folyamatokat a már ismertetett „gyorsfényképezési eljárásokkal”, időbontott módon láthatóvá tudjuk tenni, akkor rögtön egy fontos új alapvetési feladatot sikerül megvalósítani. Ha tudjuk, hogy a plazmongerjesztés és a plazmonoszilláció lecsengése miként valósul meg, jó esély van arra is, hogy formált lézerimpulzusokkal és a nanorészecskék geometriájának precíz megtervezésével a teljes kölcsönhatási folyamatot

mind térben (nanométeres skálán), mind időben (femtoszekundum alatti időskálán) közben tudjuk tartani. Ezeket a törekvéseket ma már a világ számos vezető ultragyors laboratóriumának programjában megtaláljuk, az MTA Wigner Lendület-csoport is ilyen irányú kutatások meghonosítását tűzte ki célul. Ha sikerül egyidejűleg attoszekundumos és nanométeres kontrollt megvalósítani nanorendszerekben, rengeteg további perspektivikus alkalmazás előtt nyílik meg az út.

A legfontosabb lehet ezek közül az optikai tranzisztorok megvalósítása. Az elektronikus eszközöket alkotó elemek minimális kapcsolási ideje már évekkel ezelőtt megállt a néhány 100 ps-os tartományban, ami azt is jelenti, hogy a processzorok maximális órajele 3 GHz körüli értéknél rekedt meg az elmúlt években. Ez számos technológiai tényező együttes hatásának következménye: a tranzisztorokat összekötő interkonnektek 100 ps körüli töltési ideje és a processzorbeli hődisszipációs folyamatok határozzák meg ezt az értéket (részletesebben az okokról lásd Krausz – Stockman, 2014). Ha elektronikus jelek kapcsolása helyett optikai jelek kapcsolásával sikerülne tranzisztor megvalósítása, az nyilvánvalóan nagyobb kapcsolási sebességet tenne lehetővé: ha csak például a látható fény frekvenciáját, az elérhető legrovidebb lézerpulzushosszakat nézzük, akkor optikai úton akár 100 000 GHz-es kapcsolási sebességek is elképzelhetővé válnának. Az egyetlen ok, amiért erre alapozva eddig még senki nem épített optikai számítógépet, az a szükséges struktúrák mi-

niatürizálási lehetőségeinek korlátozott volta. Ismert, hogy fényjeleket hagyományos módszerekkel csak a hullámhosszal összemérhető méretre lehet koncentrálni (például fókuszálni), ez az ún. diffrakciós limit, ami a mikroszkópok felbontásának is sokáig határt szabott. Emiatt nagyszámú optikai tranzisztort sem lehet kis területen elhelyezni. Nanoméretű optikai tranzisztorok konstrukciójára az egyetlen lehetőség plazmonok keltésében és azok nemlineáris kölcsönhatásaiban rejlik. Mint már bemutattuk, plazmonkeltéssel a fényt nanométeres térrészre lehet koncentrálni. Ha megfelelő elrendezésben különböző plazmonjelek egymással nemlineáris kölcsönhatásba tudnak lépni, el is készültünk a nanoméretű, az eddigieknél százszoros gyorsabban kapcsolható optikai tranzisztor prototípusával. Természetesen ekkor még számos további technológiai kérdés merül fel a jel tranzisztoronkénti veszteségétől kezdve a komplex számítástechnikai architektúrák megvalósításának kérdéséig, de a fent leírtak megvalósításával fontos lépés történne az optikai számítógépek megalkotásának irányában.

Ultrarövid fényimpulzusok és nanorendszerek kölcsönhatásának vizsgálata tehát sok alap- és alkalmazott kutatási érdekességet rejthet a közeljövőben, és ez az új kutatási irány egyre több hazai tudományos műhelyben kezd meghonosodni.

Kulcsszavak: lézerpulzusok, femtoszekundumos folyamatok, nanotudomány, plazmon, spektrumszerkesztés

IRODALOM

Csete Mária et al. (2013): Improvement of Infrared Single-photon Detectors Absorptance by Integrated Plasmonic Structures. *Scientific Reports*. 3, 240. DOI: 10.1038/srep02406 • <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1208/1208.6285.pdf>

Csete Mária et al. (2014): Collective Plasmonic Resonances on Arrays of Cysteine-Functionalized Silver Nanoparticle Aggregates. *The Journal of Physical Chemistry C*. 118, 31, 17940–17955. DOI: 10.1021/jp503465r

Dombi Péter et al. (2013): Ultrafast Strong-field Photoemission from Plasmonic Nanoparticles. *Nano Letters*. 13, 674–678. DOI: 10.1021/nl304365e • <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/nl304365e>

Drescher, Markus et al. (2002): Time-resolved Atomic Inner Shell Spectroscopy. *Nature*. 419, 803–807. DOI:10.1038/nature01143 • <http://www.nature.com/nature/journal/v419/n6909/full/nature01143.html>

Giannini, Vincenzo et al. (2010): Controlling Light Localization and Light-matter Interactions with Nanoplasmonics. *Small*. 6, 22, 2498–2507. DOI: 10.1002/smll.201001044

Goulielmakis, E. et al. (2004): Direct Measurement of Light Waves. *Science*, 305, 1267–1269. DOI:10.1126/science.1100866

Krausz Ferenc - Stockman, Mark I. (2014): Attosecond Metrology: from Electron Capture to Future Signal Processing. *Nature Photonics*. 8, 205–213. DOI: 10.1038/nphoton.2014.28

Kroó Norbert et al. (1991): Decay Length Of Surface Plasmons Determined With A Tunneling Microscope. *Europhysics Letters*. 15, 289–293. DOI: 10.1209/0295-5075/15/3/010

Luk'yanchuk, Boris et al. (2010): The Fano Resonance in Plasmonic Nanostructures and Metamaterials. *Nature Materials*. 9, 707–715. DOI:10.1038/nmat2810

Sipos Áron et al. (2014): Plasmonic Spectral Engineering Via Interferometric Illumination of Colloid Sphere Monolayers. *Plasmonics*. 9, 5, 1207–1219. DOI: 10.1007/s11468-014-9732-1 • <http://link.springer.com/article/10.1007%2F11468-014-9732-1>



MITŐL LÉZER A LÉZER?

Horváth Zoltán György

a fizikai tudomány kandidátusa,
MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Szilárdtestfizikai és Optikai Intézet
horvath.zoltan@mta.wigner.hu

A fény elektromágneses hullám. Az átlagembernek az elektromosságról a megdörzsölt ebonitrúd szikrái meg a villanyáram, a mágnességről az iránytű és a piros-kék rudacsok, a hullámról pedig kellemes nyári vagy wellnessemlékek, esetleg a szinuszfüggvényhez kapcsolható kellemetlen benyomások jutnak eszébe. Az elektromosság, mágnesség és még hullám is együtt, egyetlen mondatban, már kicsit soknak tűnik. Nagyon meglepő, hogy egy elektromos töltéspár (dipólus), aminek az elektromos hatása már kis távolságokon is alig érzékelhető, egy parányi periodikus mozgásra valami olyant (például fényt) bocsát ki, valami olyan „szakad le” róla, ami hihetetlen sebességgel száguldhat a végtelenbe. Vigasztalásul egy idézetet tudok ajánlani *Richard P. Feynman Mai fizika* című könyvéből: „Az igazi (elektromágneses) hullámokat valójában nem tudom jól megközelíteni képszerű ábrázolással, így Önök se nyugtalankodjanak tehát, ha nem boldogulnak egykönnyen a képkészítéssel – mások is ugyanilyen nehézségekkel küzdenek” (Feynman, 1971). Hihetünk neki, hisz ezzel a szerény képzelőerővel is kaphatott fizikai Nobel-díjat. Szinte biztos, hogy a modern fizika által tanulmányozott világ (főleg a mikrovilág és a sugárzások világa) nem olyan, mint a ... (itt a három ponttal a mindig sántító hasonlatokra utalok). Ezt

a világot nehéz elképzelni, majdnem lehetetlen „érteni”. Elég, ha „csak” szorgos kutatómunkával megismerjük tulajdonságait, megtudjuk, hogy „milyen”, hogyan viselkedik, s ezt a tudást használva építettük/építjük fel az aktuális századok technikáját. Ez történt a fényvel, a lézerekkel is.

(Mindenkintől előre elnézést kérve, félve írom le: az idegen szavakat, a nyelvtani szabályokat, a történelmi dátumokat, a neveket, a KRESZ-t és a jogszabályokat szinte soha nem kell „érteni”. Elég tudni és – lehetőleg – sikeresen használni. Miért pont a szigorú alapokra logikusan építkező matematika, fizika és kémia lenne az a kivétel, amit még érteni is kell? Nem lehetne először ezeknek a mindennapi élethez szükséges törvényeinek is „csak” megtanulni és használni, legalább alapokon? Az értés és az azzal járó kivételesen jó érzés legtöbbször csak a szakmájukat imádó profik kiváltsága.)

A fényt ünnepeljük 2015-ben, a fény nemzetközi évében. Az ünnepelt egy speciális változata a lézert fény, s az ezt keltő fényforrások, a lézerek. Lényegében a semmiből születtek, a kutatói elmék zsenialitásának és kitartó szorgalmának eredményei. Viszonylag rövid idő alatt az alig érthető tudományos furcsaságból olyan hétköznapi használati eszközökké váltak, amelyek nélkül ma nem olyan

lenne a minket körülvevő világ, amilyennek napjainkban tapasztalhatjuk.

Mitől lézer a lézer? Majd’ ötven évvel ezelőtt, amikor a lézerekkel foglalkozni kezdtem, még határozottan tudtam a választ. Mára elbizonytalanodtam. Nagyon. Emiatt a cikk pontosabb címe, és tartalma inkább az lehetne, hogy a lézerek 1960-as megalkotása után több mint egy fél évszázaddal – ami alatt rengeteget fejlődött a lézerfizika és -technika – miért nem tudjuk már pontosan definiálni, hogy mitől is lézer a lézer?

Érdekelhet-e valakit egy ilyen kérdés 2015-ben? Remélem, hogy igen, hiszen lézeres előadások sokaságát találjuk az ünnepi programokban, s az általános iskoláktól az egyetemekig tanárok százai oktatják a lézerfizika alapjait. Nagyon hasznos lenne, ha az általános érdeklődőkön túlmenően legalább azok, akik a lézer témájában megszólalnak – szakítva az 1963 előtről(!) származó, változatlan formában másolt tankönyvek mára teljesen elavult tematikájával – definiálni tudnák előadásuk tárgyát. Átéreznék, hogy a ma lézerei nem feltétlenül csak olyanok lehetnek, mint az ötven évvel ezelőttiek.

A hatvanas években a hivatalos meghatározás kb. így szólt: a lézer monokromatikus (egyszínű), koherens (igazi szinuszhullám tulajdonságú, azaz interferenciára képes), kis divergenciájú (közel párhuzamos, nyalábszerű) fényt kibocsátó forrás.¹ A 2015-ös Google-keresés eredményei és a *Wikipedia*-beli meghatározások is hasonlóak. Kár, hogy ez már a lézerek születésekor, 1960-ban sem volt teljesen igaz. A fenti meghatározásból a legfontosabb: a lézer fényforrás (kéretik megjegyezni)!

¹ Az angol laser betűszó feloldása: light amplification with stimulated emission of radiation (fényerősítés sugárzás stimulált kibocsátásával).

Fény jön ki belőle, tehát kevés olyan trükköt tud, amit egy jó zseblámpával, a Nap vagy egy lecsapó villám fényével ne lehetne megcsinálni. Nem megy át a falon (csak ha átégeti), nem áll meg a levegőben (csak néha úgy látszik), nem kanyarodik be a sarkon (csak ha nagyon bonyolult anyagból van a sarok) stb. Mégis sokkal többre képesek a lézerek, mint természetes fényforrásaink, legalábbis sok mindent egyszerűbb velük megcsinálni, mint azokkal, amiket a természet vagy a lézerek előtti emberiség megalkotott.

Milyenek a „nemlézerek”?

Színesek (nem monokromatikusak, emiatt nem is lehetnek koherensek), és szinte minden irányban sugárzó (nem nyalábszerűen emittáló) fényforrások, azaz a hatvanas évek definíciója alapján: nagyon „nemlézerek”. Ilyen a természet. Illetlenség a poént már egy cikk elején lelőni, de: mai korszerű csúcslézereink nem kis része szintén „színes”, vagyis széles spektrumban, szinte nagyon is „fehéren” sugároz, és nem feltétlenül csak nyalábszerű fényt emittál! Ennek ismeretében talán még érdekesebb lehet a címben felvetett kérdés.

A természetes fényt, a napfényt, esetleg gyertyafényt többé-kevésbé bonyolultan utánozni próbáló mesterséges fényforrásainkban valamilyen módon (melegítés, kémiai trükkök, gázkisülés stb.) gerjesztett állapotba jutott egyedi atomok, molekulák – kis túlzással – kényük-kedvük szerinti időpillanatokban össze-vissza irányokban bocsátanak ki különböző frekvenciákkal rezgő valamit. Az egyszerűség kedvéért, és hogy tudjuk, miről beszélünk, a dolgokat valamilyen névvel szoktuk ellátni. Esetünkben ezt a „valamit” elektromágneses hullámnak nevezzük. (Elnevezés, nem magyarázat, lásd: alma, Nap, víz stb.)

Az iskolában, ahogy az optika terítékre kerül, lerajzolunk egy (legfeljebb két) szép szinuszhullámot: ez a fény (is). A baj csak az, hogy az általunk látott fény-valóság nem egy-két, hanem rengeteg össze-vissza hullámból áll. Ez a kaotikus valami az, amit látunk, megszoktunk, szeretünk, természetesnek érzünk. Ha egyetlen, matematikailag korrekten leírható hullámot szeretnénk kiválasztani a természetes fényből, és arról minél többet megtudni, nagyon gyenge monokromatikus sugárzás marad. Olyan forrás kellene tehát, amelyik igazi szinuszosan rezgő fényt emittál, kizárólag azt, és ha lehet, nagyon sokat. Ez a cél már régen, a spektroszkópia (színképelemzés) kialakulásakor megfogalmazódott. Sok évtizednek kellett eltelnie, és sok Nobel-díjas ötletnek kellett egymásra épülnie, amíg először 1960-ban a lézerekkel sikerült ezt a rég vágyott célt egészen jól megközelíteni. (A lézerek rövid története például Horváth Zoltán György 2010-es cikkében olvasható.)

Hogyan csináljunk (tudományos) „szép” fényt?

A szinuszos oszcilláció létrehozásának szokásos módja egy „visszacsatolt erősítő” készítése. Szinte mindenki emlékszik rá, mi történik, ha egy ünnepségen a hangszóró zaja kissé túlzottan magasra csavart hangerő esetén visszajut a mikrofonba. Fűlsiketítő sípolást hallunk. Éppen ez a keresett, szép szinuszos oszcillátor (rezgés-keltő) hang, amit a hangmérnökök (be)gerjedésnek hívnak. Ötven év távlatából visszanezve, úgy tűnik, hogy a közismert, klasszikus lézerek fényfrekvencián működő oszcillátorok.

Mi is kell a szép szinuszhoz?

Az előbb leírtakhoz hasonlóan: egy fényerősítő és annak végéről a kijövő, kissé erősített

fényt sokszor, újra és újra vissza kell vezetni az erősítőbe, hogy tovább erősödjön. Ha mindent jól csinálunk, a rendszer „begerjed”, s működni kezd a fényoszillátor. A klasszikus lézerek története és fejlődése arról szól, hogy hogyan is kell ezt a folyamatot megvalósítani és szüntelenül tökéletesíteni.

Az alapprobléma „csak” az, hogy fényerősítő nem létezik! Pontosabban: termikus egyensúlyban lévő anyagokban – természetes környezetünkben lényegében semmiben – fényerősítést nem lehet létrehozni. Megszokott világunkban a fény mindig csökken, ha áthalad valamin. A levegőben, az ablaküvegen vagy egy fényvezetőben kevésbé gyengül, a falon pedig már semmi nem megy át. Mindig csökken. Fényerősítés nincs! Ez a hétköznapi tapasztalat. A jelenségnek mély fizikai okai vannak, s magyarázata valahol ott keresendő, hogy az anyagok természetesen törek-szenek arra, hogy minél alacsonyabb energia-állapotba kerüljenek (például a Földön általában lefelé esik minden, nem felfelé). Ezen az apróságon kellett változtatni.

Fényerősítés eléréséhez a fénykeltéssel kapcsolatos fizika szinte minden addig ismert trükkjét bevetették, hogy sikerüljön a gyakorlatban is megvalósítani a kívánt természetelenes – populációinverzió (a természetes energiaállapot fordítottjának, néha negatív hőmérsékletűnek) nevezett – állapotot. Évekig tartó nagyon gondos válogatás után, igen extrém feltételek mellett, néhány speciális anyag fényemisszióra képes komponensén már lehetett fényerősítést detektálni. (Itt és a továbbiakban kissé szabadon értelmezzük az eredetileg csak a látható színképre érvényes „fény” fogalmát, beleértve az infravörös és ibolyántúli elektromágneses tartományt is.) Sajnos a mért erősítés nagyon kicsi, a kimutathatóság alsó határán mozgó mértékű volt.

A fényerősítők „tudták a fizikát,” és ún. *indukált emisszióval* (részletek pl. Csillag – Kroó, 1987) olyan erősített fényt hoztak létre, amely fázisban (rezgési állapotban) és irányban is csatlakozott a környezet elektromágneses teréhez, azaz a sok független forrás fénye valóban egységes szinuszhullámmá, koherens (szépen együtt rezgő) fénytérre állt össze.

Az indukált emisszió a fényfizika egyik csodája. Eredetileg egy apró korrekció volt az egyenletekben, amelyet Einsteinnek be kellett illesztenie, látszólag csak azért, hogy a matematikai leírás tökéletesen egyezzen a precízen kimért valósággal. Ez a korábban szinte megfigyelhetetlen járuléka lett a lézerfizika kiindulópontja. Olyan jelenséget kell elképzelni, ahogyan egy színházi előadás végén a kezdeti kaotikus tapsból (spontán emisszió) lassan kialakul a tökéletesen szinkronizált (indukált emissziós) vastaps. A fényt (tapsot) emittáló független egyedek (emberek) szívesen csatlakoznak a többiek ritmusához, ha azt érzékelik (hallják). A színházban a hallott hang szinkronizálja az egyedek kezét, lézerek-nél a többi emittáló forrás fénytere készíti az egyedeket a hasonló ritmusú (koherens) fényemisszióra.

Emlékeztetek az előző bekezdésre: egy kis korrekcióról van szó, amely rádióhullámoknál még akár jelentős értékű is lehet, de valószínűsége a fény esetén (a hullámhossz függvényében nagyon erősen csökken) reménytelenül kicsinek tűnt, bár *Rudolf Ladenburg* már 1928-ban látni vélte indukált emissziót. Szinte senki nem bízott benne, hogy a fényerősítés „használatos mértékű” is lehet.

Jánosy Lajos akadémikus, a KFKI korábbi – az első hazai lézerek megépítéséről döntő, és azokat pályázatok nélkül három hónap alatt(!) megépíttető – igazgatója rezignáltan „büszkélkedett” azzal, hogy csak ő maga leg-

alább tíz-tizenöt évvel vetette vissza a lézerek felfedezését. Még Angliában dolgozott, amikor egy kollégája előállt az ötlettel, hogy valami nagyon furcsa készüléket lehetne építeni az akkoriban éledző fényerősítőkre alapozva. (Az 1940-es évek legvégén vagyunk, amikor *Valentin Fabrikant* javaslata, *Willis Lamb* és *Robert Retherford* fényerősítés-mérései már ismertek voltak). Jánosy az akkor rendelkezésre álló adatokból rövid számolás után kimutatta, hogy legalább 30 km(!) hosszú egyenes gázcsatlakozási csövet kellene építeni ahhoz, hogy jól detektálható koherens fény jelenjen meg a cső végén. Ez gyakorlatilag kivitelezhetetlen. Lebeszélte kollégáját a folytatásról. Joggal. Valószínűleg sok más professzor is így vélekedett szerzte a világon. Fényerősítők tehát már 1960 előtt is voltak, de egy apró ötlet még hiányzott!

A (nyugati) tudománytörténet a lézerek szempontjából legfontosabb lépésnek *Arthur Schawlow* és *Charles Townes* 1958-as cikkének megjelenését tartja. A Nobel-díj-bizottság körültekintőbb volt, s később nyomaték-kal vette figyelembe *Nyikolaj Baszov* és *Alekszandr Prohorov* szinte teljesen hasonló következtetéseket felmutató, ugyanakkor publikált mikrohullámú és „optikai mézerek” eredményeit. Ekkor jelentek meg először a ma lézer-rezonátoroknak nevezett megoldások. (Pontosabban a nyitott rezonátorok. Zárt rezonátorokat a rádiótechnikában mikrohullámok keltésére, például a mézerekben már régóta használtak, de ezek a sokkal rövidebb hullámhosszú fény esetén – akkor még(!) – használhatatlannak tűntek.)

Emlékezzünk: fény frekvenciáján működő rezgés-keltőt úgy kell csinálni, hogy a fényerősítőből kilépő fényt visszavezetjük újra és újra az erősítőbe. A célszerűen hosszúkás fényerősítő két végére teszünk két tükröt, és

kész! Ma már hihetetlenül egyszerűnek tűnik ez a több Nobel-díjat érő ötlet. A fényerősítőt két tükrő (rezonátor) közé kell tenni. Nagyjából így kellett az 1960-as évek elején lézereket készíteni.

Természetesen ha a két tükrő mindent visszaver, akkor csak remélhetjük, hogy a rezonátoron belül működik a folyamat. Ha látni, használni is szeretnénk ezt a különleges fényt, praktikus, ha legalább az egyik tükröt nem 100%-osra készítjük (vagy más trükkökkel lopjuk ki a belső sugárzást). Emlékezzünk csak: a Jánossy-féle erősítő 30 km hosszú lett volna. Ha a két tükrő közé egy 1 m hosszú fényerősítőt teszünk, és 30 000-szer oda-vissza veretjük a fényt, máris megvan a kívánt hosszúság. A két tükrő megsokszorozza a fényutat, más szavakkal: emberi méretű (példánkban: méteres) dobozba csomagoltuk a 30 km-t. Ez már akkora méret, amekkora jól használható eszközök, lézerek megépítéséhez vezetett. A csoda megtörtént, 1960-ban „megszületett” a lézer.

Milyen lett az első működő lézerek (optikai frekvencián működő oszcillátorok) fénye?

A sok érdekes tulajdonságból itt most csak két közismert elemet emelek ki:

A lézer fénye monokromatikus, azaz egyszínű. Természetes, hiszen örültünk, hogy a fényerősítéshez szükséges bonyolult folyamatot egy-egy anyag egyetlen átmenetén (hullámhosszán) létre tudtuk hozni. Más színhez más emissziós vonal, sőt sokszor más anyag is kellett. Először szinte minden színhez egy-két konkrét lézernév tartozott (piros = He-Ne, rubin; zöld, esetleg kék = argon-ion stb., pedig már akkor sem csak ezek léteztek).

A lézerfény nyalábszerű, vonalszerű, azaz közel párhuzamos „sugárban” terjed. Természe-

tes, hiszen a hosszabb legyen) vonalszerűre, csőszzerűre készített fényerősítőt két, egymásra merőlegesre állított tükrő közé tettük. Csak az a fény tud sokszorosan erősödni, ami éppen a két tükrőre merőleges irányban indult el, a többi elveszik. Két párhuzamos tükrőre pedig csak egy azokat összekötő vonal, egy nyaláb lehet merőleges. A kilépő lézerfény tehát a tükrök miatt automatikusan vált vonalszerűvé! A párhuzamos nyalábban terjedő fény viszont eredetileg nem célja volt a lézerfejlesztésnek, hanem „csak” egy célszerű kompromisszum eredménye. Örültünk, hogy legalább egyetlen vonal mentén sikerült a feladatot megoldani. (Emlékezzünk: természetes fényforrásaink általában pontforrások, azaz minden irányban, gömbszerűen sugároznak.)

Tényleg olyan fényről álmodtak a lézerfizika úttörői, amilyent 1960-ban létrehoztak? Ma már biztosan tudjuk, hogy csak részben. Remélték – és elérték – a szép szinuszhullámokat produkáló, viszonylag intenzív fényforrást, de az 1950-es évek közepéig csak a tudományos-fantasztikus irodalom szerzői reménykedtek a nyalábszerűségben, a „halálsugárban”. Sok korai lézeres „találmány”, sőt Schawlow és Townes 1958-as szabadalma is egyértelműen bizonyítja, hogy nem vártak intenzív fénynyalábot, sőt Thodore Harold Maiman híres első rubinlézerének leírásában (Maiman, 1960) sem találunk a vörös lézersugár utalást! Ilyen „apróságot” pedig nem szokás ki-
felejteni egy *Nature*-cikkből. Volt ugyan két ezüsttükre az első készüléknek, a nagyon rövid rubinrúd véglapjaira párolva, de azok sok apró gyakorlati tényező miatt valószínűleg nem a későbbi tankönyvek szerint elvárható módon működtek rezonátorként. Egyre többen véljük azt, hogy a világ első lézere nem is volt „igazi” lézer. Mai szóhasználattal erősített spontán sugárzónak – ASE-nek – nevez-

nénk (lásd alább). Megnyugtató: a másodiktól kezdve már tényleg zömmel klasszikus lézerek születtek a hatvanas évek legelején.

Vegyük észre, hogy a nyalábszerűség csak egy kényszer eredménye volt! A várt kis fényerősítést legyőzni képes praktikus kényszer. Ez a két tükrő mégis csodát művelt, hiszen részben javította a fény egyszínűségét, részben megajándékozott minket a lézersugárral mint fogalommal és egy szinte minden optikai feladat megoldásánál nagyon praktikus térbeli fényeloszlással. A kis erősítésű anyagokban létrehozott, fényfrekvencián működő oszcillátor (visszacsatolt erősítő) tekinthető tehát a klasszikus lézernek, ami monokromatikus és vonalszerű fényt állít elő.

Mi van akkor, ha nagy a fényerősítés?

Akkor szigorúan véve se monokromatikusnak, se nyalábszerűnek nem kell lennie a ... minek is? Annak a valaminek, amire viszont tökéletesen illik a *laser* (fényerősítés indukált emisszióval) betűszó eredeti, szó szerinti jelentése. Ezt a zavart próbáljuk oldani (bonyolítani) a továbbiakban.

Mi is történt az elmúlt több mint ötven évben a lézerfizikában?

A legfontosabb fejlemény, hogy drasztikusan megnőtt a ma használatos lézanyagokban a fényerősítés. Míg az első, klasszikus piros hélium-neon lézerekben még csak 2–3 százalékos erősödött a fény méterenként, addig például a mai diódlézerekben (például a piros fényű mutatópálcáknál) már több száz százalékos is lehet a növekedés!

Ez az adottság egy egészen más – a hétköznapiakban kevésbé ismert – „lézervilág” is megteremtett amelle, hogy természetesen a klasszikus lézerek is sokat változtak.

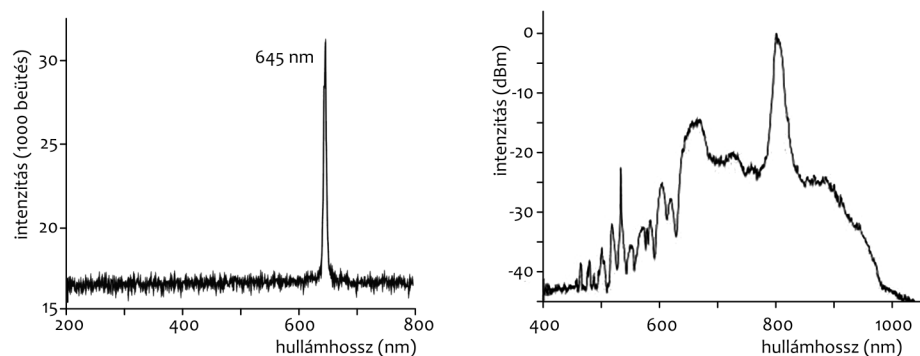
A „hagyományos” lézerek új generációjára leginkább az jellemző, hogy adott teljesítmény mellett a méretük jelentősen csökkent, hatásfokuk növekedett, illetve adott térfogatban sokkal nagyobb intenzitással emittáló, olcsóbb eszközök jelentek meg. Ma már könnyen elérhetőek az egyre keskenyebb (egyszínűbb) lézervonalakat nagyon széles színtartományon hangolni képes felhasználóbarát lézerforrások is.

Az előbbi, többé-kevésbé lézernek tekinthető eszközökön túlmenően sorra publikáltak, publikálják az egészen extrém tulajdonságokkal jellemezhető, lézernek nevezett, indukált emissziót használó fénykeltő eszközöket. A továbbiakban ezekből villantunk fel néhány érdekes példát, amelyek jól jellemzik a korszerű lézerfizika és -technika sokszínűségét, és bonyolítják egyúttal, a *lézer* szó/fogalom használatának definiálhatóságát.

A nagy fényerősítő anyagot használó lézer(?) -nek ma már nem kötelező se egyszínűnek, se vonalszerűnek lennie!

Ahogy az *1. ábrán* is látszik: sok-sok éve már olyan lézereink is vannak, amelyek nem egy keskeny vonalon, hanem nagyon széles spektrumon is sugározhatnak. Természetesen itt a sok szín együttes jelenléte miatt fel sem merülhet a klasszikus értelemben vett koherencia megléte. Egy érdekes megoldás, a fényfésű-technika viszont lehetővé teszi, hogy fázisaikban mégis tökéletesen szinkronizálni tudjuk az adott frekvenciaközökkel keltett széles spektrumú fénykomponenseket.

A széles spektrum a kulcsa többek között az atomok, molekulák elektronjainak mozgását, sőt a molekulák egyes részlemeinek rezgéseit, összeolvadását, vagy épp szétválását, azaz a kémiai alapfolyamatok dinamikáját is „lefotózni” képes ultrarövid fényimpulzusok előállíthatóságának. A Szegeden épülő hazai



1. ábra • A lézerek fényének spektruma (színe). Balra: 1960 körül egy keskeny vonal (egyszínű); Jobbra: az utóbbi ötven évben akár széles spektrumú („fehér”) is lehet, például Ti:zafir lézer az ultrarövid fényimpulzusok keltéséhez.

„szuperlézer” ennek a típusnak – remélhetően – világrekorder változata lehet, szinte elképzelhetetlenül nagy sávszélességgel és ennek megfelelően rövid időtartamú (attoszekundumos) fényimpulzussal. Jobbára csak a szenzációvadász sajtó használja a „szuperlézer” kifejezést. A szakma e projektet a sokkal szerényebb ELI (extrém fény-infrastruktúra) néven emlegeti. Az a kérdés viszont, hogy a nagyon sokszínűnek is csak jókora extrapolációval nevezhető elektromágneses impulzus, amelyet a szegedi rendszer fog kibocsátani, még fénynek tekinthető-e, egynéhány évtized múlva megírandó cikk érdekes témája lehet.

Fura lézerek fura tükrökkel

A klasszikus (nem a *laser* szóból levezethető) lézer tehát két, egymásra merőleges tükör közé helyezett fényerősítőből áll, ami a populációinverzió állapotában lévő (negatív hőmérsékletű) anyagokban indukált emisszióval produkálja a leginkább tudományos szempontból speciálisan szép tulajdonságokkal bíró fénynyalábot.

A hétköznapi gyakorlat persze ennél sokkal bonyolultabb. Említettük, hogy az első

–lézernek tekintett – „rubinlézer” valószínűleg nem nyalábszerűen sugárzott. A nagyon hamar megjelenő félvezetőlézerek is olyan fénytér-eloszlást produkáltak, amelyet csak erős túlzással lehetett nyalábnak titulálni. A helyzet sok évtized alatt is csak annyit változott, hogy a nagy nehézségek árán elliptikus kúp-pá szépített fénytérből a modern optika eszközeivel már nem probléma egy mutatópálcához illő kellően párhuzamos nyalábot, vagy DVD-író-olvasó fókuszpontot varázsolni.

Már a 60-as évek második felében kifejlesztették azokat a nagy erősítésű – akkor még csak folyadékként, oldatban használatos – festéklézereket, amelyeknek a „színe” (hullámhossza) különleges rezonátorokban akkoriban szokatlanul széles tartományon hangolható volt. Itt érdemes megemlíteni azt a kiemelkedő munkát, amelyet szegedi kollégáink e színes lézertípus és gerjesztő forrásainak fejlesztésében értek el, s ami megalapozhatta az ELI projekt Tisza menti telepítését.

Néhány próbálkozást nem számítva (haladóhullámok, hántolótükrök, ringlézerek stb.), a 70-es évek elején a festéklézerekben szakított először a lézerfizika a klasszikus, kéttükrös

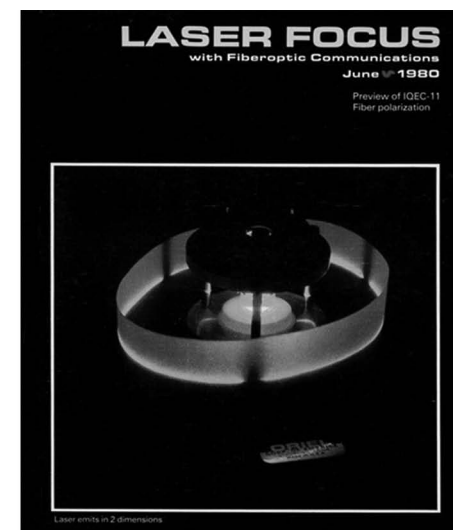
rezonátorok gyakorlatával. A két, viszonylag nagyon reflektáló tükör helyett a fény hullámhosszával összemérhető távolságban lévő milliónyi, kicsit reflektáló (esetleg nem erősítő, abszorbeáló) rétegek sokaságával érték el a külső rezonátorhoz hasonló hatást. A megoldást elosztott visszacsatolásnak (DFB) nevezik, s ma is elterjedten használatos számos nagy erősítésű anyagban (például félvezető-lézerek), és már nem csak folyadék formában.

Alapjaiban szakított a klasszikus, kötelezően vonalszerű lézerfény felfogásával és gyakorlatával az első, nem nyalábszerűen, hanem egy teljes síkban egyidejűleg sugárzó ún. halólézer megjelenése. A síklézert először a szerzőnek az infravörös tartományban a világhírű Lebegyev Intézetben sikerült megépítenie (Horváth et al., 1980), látható változatban pedig Szegeden, *Bor Zsolt*, *Rácz Béla* és *Szabó Gábor* kollégákkal együtt (2. ábra). A szokásos két tükör közé helyezett vonalszerű lézeranyag helyett itt egy vékony, lapos ko-

rong volt a fény forrása, amit egy koncentrikus hengertükör közepébe helyeztünk. A síkban sugárzó lézer fénye a korábban megszokott vonallézer lézerpöttye helyett egy csodás teljes kört rajzolt a laboratórium falára (Bor et al., 1980).

Ezek után nagyon hamar megjelentek a gömb alakú lézeranyagot és gömbtükröket használó háromdimenziós, a tér minden irányában sugárzó lézerek is.

A nyolcvanas évek elején tehát már nem csak vonalszerű egydimenziós (1D), hanem 2D-s sík- és 3D-s gömblézerek is léteztek, csak hogy ezeknek akkor a hétköznapi gyakorlatban nem volt nagy jelentőségük (Horváth, 2012). A felhasználók a lézer nyalábszerű terjedésének előnyeit élvezték, s jogosan ragaszkodtak a bevált lézerforrásokhoz. Csaknem harminc évnek kellett eltelnie, hogy a síklézerek ma már miniatűr, akár a fény hullámhosszával is összemérhető méretekben, „mikrodiszk” lézerekként a modern lézerfizika



2. ábra • A lézerekből kibocsátott fény térbeli eloszlása. Balra: 1960 körül vonalszerű; jobbra: az utóbbi 50 évben akár sík vagy gömb is lehet (a síklézer a szerző, *Bor Zsolt*, *Rácz Béla* és *Szabó Gábor* munkájaként a *Laser Focus* címlapján. KFKI-JATE)

fókuszába kerüljenek. Felhasználásukra leginkább a tervezés alatt álló, az elektronok helyett a kevésbé zavarérzékeny és gyorsabb, fényt alkalmazó számítógépek nyomtatható paneljein számíthatunk.

A rezonátorok reflektáló elemeinek célzerű finomításaival, módosításaival, szokatlan új lézertípusok születtek.

Nagy fényerősítés esetén viszont még egy merész lépést is megtehetünk:

Mi történik, ha nincsenek tükrök, reflektáló elemek a „lézerekben”?

Ekkor már nem illene a *lézer* elnevezést használni. Mégis sokan megteszik. A körültekintőbbek megkülönböztető jelzők melléillesztésével finomítják, orvosolják a problémát.

Ha valaki ma, 2015-ben megkérne egy lézerfizikában járatos kutatót, hogy készítsen „fényerősítőt, indukált emisszióval” (ami a *laser* betűszó pontos jelentése), az valószínűleg venne például egy csepp Rhodamin 6G oldatot, azt néhány nanoszekundumos zöld fénnel gerjesztené, s az ekkor keletkező közel monokromatikus, minden irányban sugárzó intenzív sárga fény tökéletesen teljesítené a kívánalmakat. Eszébe nem jutna tükröket használni!

A korrekt szakma a tükrök nélküli, de lézerekhez hasonló fényforrásokat erősített spontán sugárzóknak (ASE) nevezi. Ez a bonyolult elnevezés pontosan leírja, miről is van szó: nagy erősítésű anyagokban bizonyos kritikus erősítés/méret felett automatikusan elindul a laser betűszóra tökéletesen illő fényerősítés, indukált emisszióval. A kibocsátott fényt a benne természetesen keletkező spontán fény-sugárzás indítja, s tartja fenn mindaddig, amíg az erősítés értéke lehetővé teszi. Pontosan úgy, mint a klasszikus lézerekben, csak hogy itt már nincs szükség sokszoros fényátfutásra.

Bármelyik egyetlen, tetszőleges irányban haladó fény is hihetetlen mértékben fel tud erősödni, így minden irányban láthatunk – általában csak – kicsit monokromatikus, kicsit koherens, de nagyon nem nyalábszerű sugárzást. Apró trükkökkel, ha szükséges, természetesen lehet ezt is nyalábosítani.

A nyolcvanas években megjelentek a javított ASE-források, az ún. *random lézerek*. Maradva a Rhodamin csepp előbbi példájánál, ha abba sok apró, a fényt jól szóró részecskét is belekeverünk, sokkal „sebb” és jobb hatásfokú lehet az ASE. (Figyelem: korábban mindig optikailag tökéletes minőségű lézeraktív anyagokat használtunk!) Itt a matítás, a sokszoros fényszórás miatt megnöveli az egyedi fényutakat, így az erősítést, és homogenizálja a fényeloszlást. Majdnem kész a „lézerlámpa”, ami egyszínű, de minden irányban jól sugároz, nem úgy, mint lézereink irányított fénye.

Az egyszerűen kivitelezhető, jópofa játszadozáson kívül van-e értelme az ASE-nek, ennek az „elrontott” lézernek? Bizony, nagyon is sok! Ezekből csak kettőt említek:

Nagyon mikroméreteknél: az ASE spektruma erősen függ a környezettől, például annak mérettulajdonságaitól is. A patológusok a mikroszkopikus metszetek szerkezeti jellemzőiből sokszor „ránézésre” meg tudják különböztetni a rákos és egészséges szöveteket. Ha a mintákat lézeraktív festékekkel átitatják, s azokban ASE-t generálnak, a spektrumvonalak szerkezetének automatikus elemzése is „megtanítható” egy készüléknek, ami így alkalmas lehet bizonyos előválogatási, elődiagnosztikai feladatok ellátására.

A makrovilágban: a kozmikus térben sem kizárt, hogy „természetes” lézerforrásokat találhatunk, akár a bolygók légkörében, a csillagokban, sőt a csillagközi térben is, bár-

miben, ahol nincs termikus egyensúly. Ez ugyanis a fényerősítés egyik fontos alapkövetelménye. Nagy szerencse, hogy nem kell félnünk természetes kozmikus („igazi”) lézertámadástól, mivel kicsi a valószínűsége, hogy például a Tejút két végén jó merőlegesre jusztált lézertükröt találunk. Ha ott, az űrben (és általában a természetben) valami lézerszerű történhet, az bizonyosan csak tükrök nélküli ASE-folyamat lehet. Mégiscsak jobb lenne, ha a kozmoszból egy esetlegesen kialakuló s gigantikus intenzitásúra felerősödött fénysugár nem koncentrált lézernyalábként, hanem csak szelídebb ASE-ként találna teli-be bolygónkat.

Összefoglalás

Kijelentem, hogy a fentiek (és természetesen az alábbiak is) – mivel a kérdésben semmiféle nemzetközi szabályrendszer, egyetértés, „koherencia” nincs – kizárólag a szerző sok évtizedes lézerfizikai tapasztalatából leszűrte, egyéni álláspontját tükrözi. Bárki a továbbiakban is nyugodtan azt nevez lézernek, amit csak akar, vagy amit a publikációkat, híreket közlő tudományos, vagy éppen bulvárlapok aktuális szerkesztői az adott pillanatban éppen megengednek.

Láttuk, hogy drasztikusan eltérő tulajdonságokat mutatnak a kis és a nagy erősítésű aktív anyagokból készülő indukált emissziós fényforrások. Nagyon befolyásolja az emitált fény tulajdonságait, hogy a fényerősítőt visszacsatolt (tükrös), vagy visszacsatolás nélküli formában használjuk. A rezonátor elrontása, elhagyása természetesen csak nagy fényerősítés mellett valósítható meg.

A lézerek több mint fél évszázados fejlődéstörténetét áttekintve valószínűnek látszik:

- A *lézer* betűszó leginkább a szinte minden irányban, nem túlzottan monokromati-

kus fényt sugárzó *erősített spontán sugárzó* (ASE) rendszerekre illik. Ezekben nincsenek visszacsatoló, reflektáló elemek, s tipikusan a széles spektrumon is nagy fényerősítésre képes anyagokban hozhatóak létre, amelyek – külső beavatkozás nélkül – az erősítési görbéjük maximuma környékén (frekvenciában kissé az alatt) sugároznak. Jellemző példák a „random”, vagy az esetleges „természetes” lézerek. Utóbbiak leginkább azért, mert lehet, hogy a természet produkálhat extrém esetekben fényerősítést, de két tükrőből álló rezonátort szinte biztosan nem, így ezek valószínűleg csak ASE-ként létezhetnek.

- A „*klasszikus*” lézer lényegében egy optikai frekvencián működő oszcillátor, azaz egy visszacsatolt fényerősítő, annak kötelező elemeivel: a fényerősítő anyagot rezonátorba (két visszacsatoló tükrő közé) helyezzük. Ez a megoldás kezdetben egy kényszer volt a kis fényerősítés miatt, s nem is pontosan olyan fényt generált, mint amilyet megálmodói vártak, hanem annál sokkal praktikusabbat: nagyon nyalábszerűt. A fényerősítés viszont nagymértékű is lehet, ezért a rezonátor használatának „kényszere” hamar megszűnt, de az elterjedt és rögzült közfelfogás szerinti alapvető és nagyon praktikus lézertulajdonságok, az egyszínűség és nyalábszerűség legegyszerűbben még ma is csak optikai rezonátorokkal valósíthatóak meg. Hiába fejlődött a tudomány és a technika, az emberek ezeket a készülékeket tekintik lézereknek.

Ha előbb sikerült volna erősített spontán sugárzót készíteni, mint az úttörő kutatók által nagyon vágyott rezonátoros „optikai mézert”, akkor a mai lézerfogalmunknak

megfelelő eszközöket biztosan nem így neveznénk. Sajnos a történelem – ezen speciális esetben – utólag már nem nagyon korrigálható. Ennek tudatában több mint ironikus és különösen furcsa, hogy a világ első rubinlézere valószínűleg erősített spontán (ASE) sugárzó volt – azaz előbb készült, mint a klasszikus lézerek –, mégis lézerként vonult be a megmásíthatatlan tudománytörténetbe.

Végezetül megemlítem, hogy hazai kutatók az elmúlt évtizedekben jelentős munkát

végeztek a klasszikus lézertudomány „lebontásában”, kiterjesztésében. Bízom benne, hogy a Szegeden épülő, s a klasszikus lézertudomány sok szempontból túlhaladó csodálatos tudományos eszközrendszer, az ELI, sok meglepetést, világszínvonalú eredménnyel sikeresen folytatja ezt a hagyományt.

Kulcsszavak: *lézer, erősített spontán sugárzás (ASE), multidimenziós lézerek, síklézer, gömb-lézer, halólézer*

IRODALOM

- Bor Zsolt – Rácz Béla – Szabó Gábor – Horváth Zoltán György (1980): Two-dimensional Halo Laser Performance. *Physics Letters A*. 80, 2–3, 153–155. DOI:10.1016/0375-9601(80)90209-1
- Csillag László – Kroó Norbert (1987): *A lézerek titkai. (Kozmosz Könyvek)* Budapest
- Feynman, Richard P. – Leighton, R. B. – Sands, M. (1970): *Mai fizika* 8. Műszaki, Budapest
- Horváth Zoltán György (2010): 50 éves a lézer. *Természet Világa*. 141, 10–11. • I. rész: <http://www.termeszetvilaga.hu/szamok/tv2010/tv1010/lezer.html> • II. rész: <http://www.termeszetvilaga.hu/szamok/tv2010/tv1011/lezer.html>
- Horváth Zoltán György (2012): Beyond the Beam: A History of Multidimensional Lasers. *Optics and*

Photonics News. 23, 7, July/August, 36–41. DOI: 10.1364/OPN.23.7.000036

Horváth Zoltán György – Kilpio, A. V. – Malyutin, A. A. – Serdyuchenko, Yu. N. (1980): Picosecond Two-dimensional “HALO” Superradiance and Laser in Rhodamin 6 G. *Optics Communications*. 35, 1, 142–146. DOI:10.1016/0030-4018(80)90378-8

Maiman, Theodore Harold (1960): Stimulated Optical Radiation in Ruby. *Nature*. 187, 493–494. DOI: 10.1038/187493a0 • <http://laserfest.org/lasers/history/paper-maiman.pdf>

Schawlow, Arthur L. – Townes, Charles H. (1958): Infrared and Optical Masers. *Phys. Rev.* 112, 1940. DOI: 10.1103/PhysRev.112.1940 • <http://laserfest.net/lasers/paper-optical-maser.pdf> Szabadalmuk (1958): USA 2.929.922



A LEONARDÓI ÁLOM A TELJESSÉG MEGKÍSÉRTÉSE A MŰVÉSZET ÉS A TUDOMÁNY SAJÁTOS ÖSSZEFONÓDÁSA ÁLTAL A FÉNYMŰVÉSZETBEN

Csáji Attila

a Magyar Művészeti Akadémia rendes tagja
csaji.attila@upcmail.hu

Tekintsék ezt az írást a téma személyes jellegű megközelítésének, annál is inkább, hiszen a fényművészet olyan belső dinamikájú területe a vizualitásnak, amely nem egy lezárult vagy lezáródó művészettörténeti korszak egyik stílusa vagy irányvonala, hanem elsősorban az utóbbi évtizedekben kibontakozó új mediális lehetőségek jövőbe ívelő együttese. Kialakulásában komoly katalizáló szereppel bírt az optoelektronika dinamikus fejlődése és az az alapvető emberi igény, hogy a technika és tudomány új eredményeit az emberi pszichikum mélységeiben megmerítsük. A szubjektív hangnemet az is indokolja, hogy a fényművészet eszköztárának bővítésében magam is részt vettem.

Kezdjük a fényművészet meghatározásával, majd történeti előzményeivel. Egy 1980-as írásomból idézek: „A fényművészet a »testetlen fény« közvetlen artikulációja – mely a fénytulajdonságok ismeretében, vetítés vagy mesterséges fényerjesztés által realizálódik. Virtuális valóság, melynek különálló elemei önmagukban csak a mű lehetőségének hordozói.”

„A művészet a tudomány kivirágzása”, hirdette erős hittel a XIX. században Walt Whitman. Ez a hit a tudomány és a technika

rendíthetetlen fejlődésében csaknem diadal-mámorrá fokozódott a futuristák egy részénél a XX. század első évtizedeiben. Az első világháborút követően a Bauhaus művészei már összetettebb választ kerestek az egyre inkább kiteljesedő technikai civilizáció kihívásaira, s itt fogalmazódott meg először markánsan az önálló fényművészet gondolata is. A fény a képzőművészet számára nélkülözhetetlen, de a művészeket évszázadokon, évezredekken keresztül inkább a fény teremtményei foglalkoztatták: a környezet, a természet kimeríthetetlenül gazdag szín- és formavilága, s korántsem a fény közvetlen képteremtő lehetőségei, noha ezzel visszatérően szembesültek. Ott rejtett a fűszálon csillámló vízcseppben, az égbolt szivárványában, a lángok játékában, ezernyi és ezernyi helyen. Már az őskultúrákban nemcsak észrevették ezt, de alkalmazására is számos példa van (Stonehenge, napkapuk, Kheopsz-piramis királykamrája stb.), de a radikális változást mégis a XX. század technikai civilizációja hozta a mesterséges fényforrások és optikai eszközök feldúsulásával.

A fényművészet történetírásának nagy öregje, Frank Popper két művészt tekintett a modern fényművészet kiemelkedő úttörőjé-

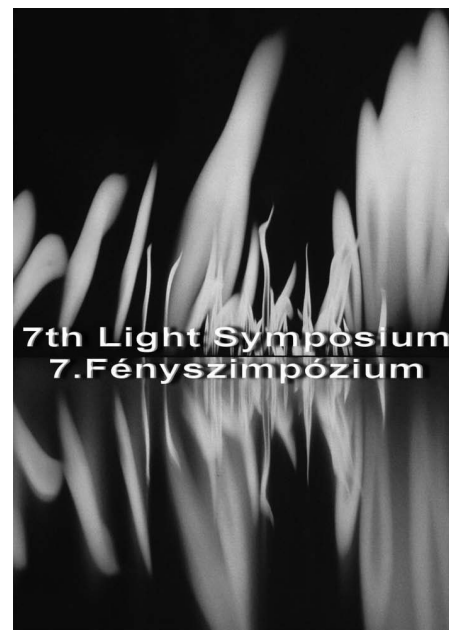
nek: meghatározónak és különösen jövőbe mutatónak tartja *Moholy-Nagy László* tevékenységét, és a dán-amerikai *Thomas Wilfred*-et, aki megalkotta a Lumiát, és sajátos fényfestészetet hozott létre. De míg a XX. század közepén a fény polarizációjával dolgozó, fényművészettel foglalkozó dán alkotók, például *Aagaard Andersen*, még csak nem is ismerték Wilfred munkásságát, addig Moholy-Nagy esetében ez másként volt.

Moholy-Nagy László volt az, aki a múlt század első évtizedeiben prófétikus hittel hirdette, hogy a jövő legtöbb művét megalkotni a fényfestő feladata lesz, akinek meghitt viszonyt kell kialakítania a fény tiszta ragyogásával, hullámhosszaival, az optikai eszközökkel, meg kell ismernie tulajdonságait. A Bauhaus gondolatai továbbadására komoly lehetőséget biztosított. Nyugodtan állíthatjuk, hogy a fényművészet történetének sajátos magyar előtörténete van, amely Moholy-Nagy Lászlóval indul, s szerves kapcsolódásokkal a máig tart. Moholy-Nagy hatása már a XX. század első felében, közepén tovább sugárzott, gondolatai követőre, továbbvivőre találtak.

Moholy-Nagy László egyik legismertebb fényművészeti munkájának, a Fénymodulátornak és a működésére épülő, azt bemutató film, a *Fényjáték – fekete-féher-szürke* (László Moholy Nagy Ein Lichtspiel Schwarz Weiss Grau, URL) létrehozásában közreműködött egy akkor még fiatal magyar művész, *Kepes György*. Ő volt az, aki Moholy-Nagy prófétikus meglátásait saját gondolataival kiegészítve a legtermékenyebben és legtermékenyítőbben vitte tovább. Ez történt a chicagói New Bauhaus Kepes által vezetett fényosztályában, majd a School of Designban, de különösen a Massachusetts Institute of Technology (MIT) létrehozott Center for Advanced Visual Studiesban.

Ez az intézet egy multimediális kutató- és alkotóműhely, amelynek keretében művészek, tudósok, technológusok együtt dolgozhatnak az új mediális kutatások jegyében, felhasználva az MIT által teremtett műhely, labor- és eszközlehetőségeket, és azt a katalizáló szellemi közeget, amelyet az MIT jelent a szürkeagy-állomány kivételes koncentrációjával. Kitűnő lehetőség a taggá választott művészek számára eddigi eredményeik, kutatásaik folytatására és kiteljesítésére. Az intézet azóta modellértékűvé vált a világon. Moholy-Nagy László gondolata Kepes György által szárba szökkenett és kiteljesedett. Kepes elméleti tevékenysége is kiemelkedő. Az építészet és a fény kapcsolatáról tartott előadásai valamint könyvei, *A látvány nyelve* és *A világ új képe a művészetben és a tudományban* a XX. századi vizuális kultúra nemzetközi alampunkái közé tartoznak. Éppúgy a kezünkbe kerülhet Kölnben, mint Bangalore-ban, Chicagóban vagy Tokióban a vizuális kultúrával foglalkozó felsőfokú intézmények könyvtáraiban. Előbb a Harvardon, majd az MIT-n kifejtett tevékenysége rendkívüli hatása. Építészek és művészek nemzedékeit nevelte.

Egyik legimpozánsabb fényművészeti munkája a XIV. Milánói Triennáléra készült *A város éjszakai tájképe* címen. A *Lángok kertjét* *Paul Earls* zeneszerzővel és fényművésszel együtt hozta létre (1. kép). Az egyik legősibb élményhez nyúl: a lángokhoz. Lüktető-szabad játékuk a zene által formálódik, ütemezi annak ritmusát. Gáz áramlik alumíniumcsövekben, amelyek végén elasztikus membránnal ellátott hangszórók helyezkednek el, ezek modulálják a lángokat. Később a komplex ökológiai léptékű fénykörnyezetek foglalkoztatták. Nemzedékeket befolyásoló előadásai-ban Kepes kifejti, hogy „a tudomány új látványok és hangok, új ízek és felületi minőség-



1. kép • Kepes György: *A lángok kertje* – a VII. nemzetközi fényszimpózium kiadványának címlapja

gek forrásait tárta fel. Ha meg akarjuk érteni az új világképet, érzékeinkkel kell megközelítenünk, meg kell alkotnunk azokat a képzeleteket, amelyek segítségével magunkévá tehetjük. Látásunkat ehhez kell igazítanunk.”

Történeti előzményként számos magyar művészt taglalhatnánk még, akik a fényművészettel kapcsolatba hozhatók: a fényorgonát létrehozó *László Sándortól* a szünesztézia technikai alkalmazóiig, de csupán egyet emelek ki: *Nicolas Schöffer* – *Schöffer Miklóst*. Az ötvenes-hatvanas években készített gépszobrai az elektronika első művészeti felhasználását jelentették. „Spatio-dinamizmus” komoly nemzetközi figyelmet keltett. Ezek a mozgó, fényeket kibocsátó, sokszor interaktív technikai szerkezetek új, eddig ismeretlen látványélményeket teremtettek, az esztétikum határait tágították. A kinetikus művészet

nemzetközileg legismertebb képviselőjévé tették, hatása elsősorban Európán hullámmozott végig. Magyarországon Egerben alakult egy csoport, az ún. *Kineteam* (1980), amely Schöffer kezdeményezését folytatta. *Balogh László*, *Bodó Károly*, *Dargay Lajos*, *Tilless Béla*, *Szatmári Béla* voltak a csoport tagjai. Technikai lehetőségeikben jóval szerényebben, de invenciózusan dolgoztak. Schöffer szülővárosának, Kalocsának ajánlotta fel munkásságának néhány kvalitatív darabját. Magyarországon a Schöffer által elindított kezdeményezés legszínvonalasabb folytatója *Haraszthy István*. A fénykinetika nem szerepel az eszköztárában, hajdani pleximunkái (például a Kopernikusz-oszlopok) is csak súrolják ezt a problematikát. Schöffer és követői csúcstechnológiát nem használtak. Ez természetesen nem a művészi kvalitásukat érinti, de fontos tény.

A fényművészet új hullámának elindítására a legkomolyabb impulzust az az optoelektronikai forradalom jelentette, amely az utóbbi évtizedekben mindennapjainkat is átírja. Ezek az eszközök (a lézer, a komputer, a holográfia, nagy teljesítményű vetítők, ledek stb.) úgy viszonyulnak Moholy-Nagy idejének eszközeihez, mint egy lupé egy elektronmikroszkóphoz. A modern tudomány és technika által teremtett eszközrendszernek művészek által történő kiaknázása és humanizálása a ma művészetének egyik kiemelkedő feladata.

Ennél a pontnál még személyesebbé szükséges változtatnom a kérdéskör tárgyalását. Mivel művész vagyok, nem művészettörténész vagy fizikus, döntően saját tapasztalataimra építve hadd mutassam be a fényművészet egyik alapproblémáját, a „testetlen” fény „anyagszerűségének” kutatását vagy az eszköz humanizálását. Ezen keresztül tudom legerőteljesebben bemutatni azt a tevékenységet,

amelyben a művészet, a tudomány és a technika összefonódik, s amely az utóbbi évtizedek fényművészeti kiállításain nagyon markánsan megjelent. Többes számot használok, hiszen az Új Budapest Galériában 2015 tavaszán megvalósult *Több fény* című kiállítás ebben a témában messze nem az első – ezt a tárlatot több évtizedes munka és számos fényművészeti kiállítás előzte meg. A *Bálmában* megvalósuló kiállítás a fény nemzetközi éve által kapott komoly lehetőséget. Impozáns, nagyívű bemutató, amely a kérdéskör aktualitását bizonyítja, bár egyelőre nem teremti meg átgondolt bemutatását, és bizonyítja azt is, hogy mára Magyarországon a fényművészet széles körű és kvalitásos művészgárdát érint. Fényművészi tevékenységem kezdetén ez korántsem így volt. A hetvenes években szinte magányos farkasként kezdtem a témához. Kiteljesedéséhez sok mindenre szükségem volt: az optoelektronikai forradalom új eszköztárának a kialakulására, friss érzékenységgel történő megközelítésére, „meghitt” viszony kialakítására, az intuitív és analitikus tevékenység arányának megtalálására, új társakra...

Az eredmények nemzetközi figyelmet keltettek, ennek alapján hívott meg az MIT Center for Advanced Visual Studies intézete tagjai közé, és teremtett kutatásaim számára komoly háttérrel. De ez már a 80-as évek második felében történt. Az ehhez vezető út évtizedekkel azelőtt kezdődött. A fényvel való képalakítás már a hatvanas évek közepe óta foglalkoztatott. Az *Üzenetek-Jelrások* című munkáim, az ősi írásképeket idéző, súroló fényvel továbbértelmezhető plasztikus struktúrák voltak a fényművészeti munkáim előképei. Közülük több volt látható a fény nemzetközi éve alkalmából rendezett műcsarnoki életmű-kiállításomon ez év márciusában.

A 3000 négyzetméteren megvalósult monstrozus kiállítás egyik fele közvetlenül fényművészeti munkásságomat érintette, neonfény-szobrokat, a lézer koherenciájára épülő szuperpozíciós módszert, fényboxokat, hologramjaimat, lézerfény-környezeteket, de a másik felében is sok minden efelé mutatott. A *Jelrások* esetében speciális festékeket kezdtem használni s helyenként mozgó fényt. A fényforrások által kibocsátott súroló fény egyre inkább a plasztikus kép szerves részévé vált. A képet így tovább értelmezhettem, mobilizálhattam. A hetvenes évek közepén tovább erősödött a fény szerepe: *Hajlított fény* címmel kalligrafikus hatású neonszobrokat készítettem. A komoly váltás 1977-ben következett be. *Kroó Norbert* fizikus, a magyarországi lézerkutatás vezetője, látva a Magyar Nemzeti Galériában rendezett kiállításomon, hogy mennyire foglalkoztat a kép fényvel történő továbbalakítása, meghívott a Központi Fizikai Kutatóintézet laboratóriumaiba, hogy egy jól irányítható fényforrással, a lézerrel folytassam tovább kísérleteimet. A modern optikával itt kerültem meghitt kapcsolatba. Az intézetben Kroó Norberttel létrehoztuk a FOTON ART csoportot, amelynek feladata a lézerfény képi lehetőségeinek feltárása volt. A festő szemszögéből közelítettük meg, pontosabban a vizuális lehetőségekkel élő művész szempontjából. Míg, tegyük fel, a látvány tulajdonságainak megismerése évezredek élő tapasztalatán alapul, s a mesterektől sok minden átvehető, a lézerfény a hetvenes években csaknem szűz terület volt a művész számára, s döntően a sokéves laboratóriumi tapasztalatok és a stúdióban végzett kísérletek által tárt fel előttem. A lézerfény három alapvető tulajdonsága a következő: 1. nagyfokú irányíthatóság, egy pontba koncentrálhatóság; 2. az egy pontba koncentrált nagy

fényerő; 3. nagyfokú rendezettség, monokromatikusság és az ebből fakadó interferenciaképesség. Ezek eltérő képi lehetőségeket rejtene magukban.

Végül sorra ezeket a tulajdonságokat! Az egy pontba koncentráltágból következett a szkenneres rajzolás, amely x-y tengelyen mozgó lengőtükörök, vezérlő elektronika és komputer segítségével valósítható meg. Az Egyesült Államokban a holográfia mellett döntően erre koncentráltak, és kitűnő eredményeket értek el. Ehhez speciális frekvenciával rezgő, az utómozgásokat kiszűrő lengőtükörök kellettek – ezek azonban a 70-es évek végén COCOM-listások voltak – így az ún. *szocialista* országokban elérhetetlenek. Ez is hozzájárult ahhoz, hogy a kutatásainkban a lézerfény harmadik tulajdonságára, a monokromatikusságára koncentráltunk. Ebből következett interferenciaképességük. A hetvenes évek végén a nemzetközi szakirodalomban az interferenciára úgy tekintettek, mint a művész által nem alakítható, lényegileg nem befolyásolható fizikai jelenségre. Ebben alapvető változást sikerült elérni.

Az analízisek megindításánál elsődleges feladatomnak azt tekintettem, hogy a fényhullámok találkozásának véletlenszerűnek tűnő képi káoszában feltárjam az ok-okozati viszonyokat, rendet teremtsék, megtaláljam a leghasználhatóbb motívumokat, a tudatos alakítás összefüggéseit és eszközeit. Kezdetben az elemzésekhez szükséges fotók százait készítettük el – rögzítve az alkalmazott lézersugár átmérőjét, az átvilágított víztiszta, transzparens, plasztikus felület formáját és a keletkező interferenciamentázatot. Az egyik első tanulság az volt, hogy a keletkező fényformáknak nincs mélységelességük, így eltérő geometriai felületeken felfogható fénykörnyezet teremthető, akár emberi testre is vetíthető. Már az

első bemutatón, a Magyar Nemzeti Galériában, 1980 januárjában fénykörnyezetben gondolkodtam. A kiállítás rendkívüli hatású volt, hatalmas tömegeket vonzott. A fényművészet ténye itt robbant be a magyar kulturális életbe.

A második: az analízisek következtében a felületformákra lassan úgy tekinthettem mint kódokra, amelyek lézerfényvel megjelenítve meghatározható interferenciakaraktereket hoznak létre.

A harmadik vezetett – áttételesen – a legmesszebbre. A formák egy ún. Fourier-kúpban valósulnak meg. A kúp csúcsa az átvilágított víztiszta transzparens lemezen van, s ettől távolodva – a kúp nyílásszögétől meghatározva – a keletkező fényforma egyre nagyobb lesz. Ezt megpróbáltam különböző optikai eszközökkel befolyásolni. A kísérletek folyamán a látvány további értelmezésének olyan lehetőségei villantak fel előttem, amelyek új képátfogalmazási módszer – az ún. szuperpozíciós transzformációs mód – megvalósítását tették lehetővé (nemzetközi szabadság, 1980). A módszer lényege az optikai kocsin megfelelően elhelyezett optikai eszközök flexibilitása az adathordozó képlemezhez viszonyítva, valamint az, hogy interferenciákra épül, de a látvány újdonsága a szuperpozíciók által valósul meg, s megjelenítéséhez nélkülözhetetlen a koherens fény. Az ún. képlemezen rögzített motívum klasszikus optikai eszközök megfelelő helyen történő közbeiktatásával tovább értelmezhető. A keletkező képen kivehető a megmintázott valós mikromotívum (maszk, emberi fej, szalagfonat stb.) és annak a Fourier-transzformáltja, a hozzákapcsolható interferenciaképek sokasága. Arányuk a folyamat metamorfikus alakulásában változtatható. A legnagyobb lehetőség ebben a módszerben az érzékletesség és a

törvényszerűség összekötő hídjának a láthatóvá tétele, mondhatnánk azt is, hogy a non-figuralitás és figuralitás között építhető híd (2. kép). A szerves és folyamatos képi változások megteremtik az átmenetet a szemünkkel segédeszközök nélkül is érzékelhető világ és a matematikailag pontosan leírható lézinterferenciák között. Ez a folyamat a csak lézerrel létrehozható formák páratlan gazdagságát hozta (angol nyelvű ismertető cikk: Csáji–Kroó, 1992). A módszernél a vizuális gondolkodás velejárója a metamorfikus folyamatokra koncentráció, az ebből fakadó időbeliség, környezet teremtése a fényvel, a multimedialitás, valamint interdiszciplináris jellegű ismeretek elsajátítása. A mediális kutatások talán legfontosabb világközpontjában, az MIT-n is unikumként tekintettek a módszerre, s Paul Earls úgy mutatott be, mint a „szűzföldek feltörőjét”. A Pannónia Filmstúdióban 1982–1983-ban készített lézeranimációs filmem a 6. vagy a 7. is erre a szuperpozíciós módszerre épül. A film elkészítése is úttörő jellegű vállalkozás volt. Számos helyen vetítették: a Magyar Nemzeti Galériában, a Német Filmmúzeumban, Frankfurt am Mainban az első holográfiai világkiállítás alkalmából, amelyen a holográfiát új művészi médiumként mutatták be, a párizsi Modern Művészeti Múzeumban az *ELEKTRA* című kiállítás alkalmából, ahol az elektromosság művészeti felhasználásának újtói közé sorolható alkotókat mutatták be, a cambridge-i MIT-n, az Oberhauseni Filmfesztiválon, Londonban, New Yorkban stb. Indiában *Az organikus formáktól a fényművészetig* című kiállítás szerves részeként folyamatosan vetítették a kiállítás ideje alatt. A dinamikus metamorfózis a film meghatározó formaélménye. Ezzel együtt egy látványparadoxon, amely különös korrespondenciákat teremt a mikro-



2. kép • Csáji Attila: *Lapok Borgesnek – Képzelt lények könyve XII*; lézerszuperpozíciós kép

és makrokozmosz között: a csillaghalmazokból sejtek formálódhatnak, és kristályokból végtelen terek. A civilizációkban megkerülhetetlen műszerek a művész gondolkodásának kiszolgálóivá válnak, és a látványban is egy folyamatosan táguló világot teremtenek körülöttünk. A filmben a szuperpozíciós módszer új érzéki élmények, harmóniák forrásává válik.

Térjünk át a fényművészet szakmailag talán legkomolyabb kihívást jelentő területére, a holográfiára! A lézertényi koherenciájából következik holográfiai felhasználása is. Köztudott, hogy az első hologramot *Gábor Dénes* hozta létre még a lézerek feltalálása előtt. A lézerek a holográfiának is komoly lehetőséget teremtettek. A holográfiának ma már számos fajtája van: reflexiós, transzmissziós, multiplex hologram, árnyék hologram (shadow gram), szivárványhologram stb. Fényművészeti kiállításainkon ezek közül a transzmissziós hologrammal, a reflexiós hologrammal, a pixelhologrammal és a szivárványhologram

egy speciális változatával találkozhatnak. Engem a holográfián belül elsősorban az érdekelt, hogy melyek azok a képi lehetőségek, amelyekre a holográfia eszközei teremtenek lehetőséget, amelyek csak virtuálisan léteznek, de valósággá a hologram által válhatnak. Így a tömeg lebegése, a tömegek transzparenciája, térérzékelési evidenciák megkérdőjelezése, képen belül színváltó struktúrák kialakítása stb. – amelyekkel az érzékelhető-látható világ továbbteremthető. Ilyen hologramokat, az ún. *Fénykalligráfiákat* (transzmissziós hologramokat) készítettem például Cambridgeben, az MIT-n. Ezek belső színstruktúrái a néző mozgása által mobilizálódnak, egy sorozat részei, és rímelnak a hatvanas években készített *Jelrácokra*, amelyek úgyszintén kalligrafikusak. Az *Üzenetek-Jelrácok* esetében elsősorban a súroló fényvel alakítható plasztikus struktúrák foglalkoztattak, monokróm színvilággal – a *Fénykalligráfiákban* viszont a színek erőteljessége, felfokozottakká váltak, és a plaszticitásnál erőteljesebben foglalkoztatott egy felszabadult, mobilizált, de mégis összehangolt kórot.

A *Fényforrás* című hologramom esetében megjelenik a színpermutáció, a sorokba rendezett képi információ színeinek változásával (kék-ibolya, narancssárga stb. dominancia asszociatív vonatkozásban: a fények-színek változásával környezetünk periodikus változásai, az éjszaka-nappal stb.). A lényegi tartalma azonban ennél mélyebb. A budapesti Szépművészeti Múzeum 100 éves évfordulójára kérték, hogy készítsem el ezt az emlékhologramot – így alapvetően „tiszteletadás az őröknek, a belső láng őröinek”. Lényege egy klasszikus gondolat avantgardon túli megfogalmazása. A múzeum számomra nem halott, ahogy ezt évtizedeken keresztül sulykolták. Úgy tekint rá, mint a belső fény akkumulációjára,

amely a termékenyítő belső fényt árasztja az arra fogékonyaknak. A hologram címe (*Fényforrás*) is innen származik.

Moholy-Nagy László és Kepes György gondolatainak továbbvitelére szerveztem a Nemzetközi Kepes Társaságot. Magyar tagjai közül *Mattis-Teutsch Waldemár* foglalkozik holográfiával. Nagyméretű hologramja, a *Maelstrom* az ún. pixelhologram kategóriájába tartozik (3. kép). Ezek strukturális indítása komputeren készül. Termélysége nincs, de a színek ismert térjelző szerepéből következően mégis bekövetkezik, hiszen érzékeink számára a kék eltérő térrétegben helyezkedik el, mint mondjuk a sárga vagy a narancs. A pixelhologram vizuális téri tagolása erre épül. Az alkotó létrehoz egy formailag meghatározott, indító színstruktúrát (például hullámtaraj-örvénylés), amely holografikus emulziós rétegen rögzítődik, és a néző helyzetváltoztatásával, a szivárvány színeinek a színváltoztatási sorrendjében színstruktúra-változást idéz elő. Rendkívül dekoratív, és méretei alaposan megnövelhetőek – így akár épületek falainak holografikus borítására is alkalmas.

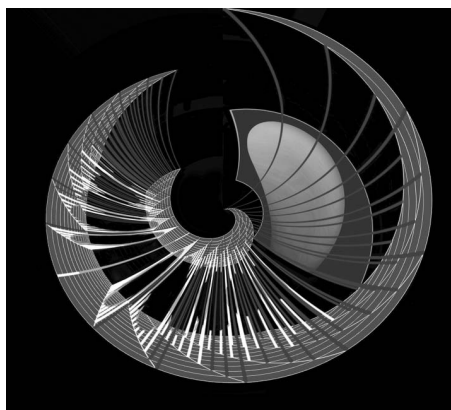
Újabban *Mengyán András* is használ lézereket fényművészeti munkáiban. Szkennekkel alakított formáit folyadékkal telített



3. kép • Mattis-Teutsch Waldemár: *Maelstrom* – pixelhologram

üveghasábokba – kockákba – vetíti, ezáltal hoz létre változó térstruktúrákat. Mint fényművész UV-érzékeny festékekkel létrehozott festményeivel vált ismertté (4. kép). Erősen reduktív, visszafogott, racionális képek. Abba a konstruktivista vonalba tartoznak, amelynek Kassák Lajos és Moholy-Nagy László óta rendkívül erőteljesek Magyarországon a hagyományai, s amelybe Konok Tamás érzékeny geometrikus vonalritmusai, Kovács Attila rendszerépítő geometriája és a kiváló tanár, Lantos Ferenc munkái is tartoznak. Mengyán csak részben. Túlnő ezen a hagyományon, és összetéveszthetetlen egyéni utat teremt.

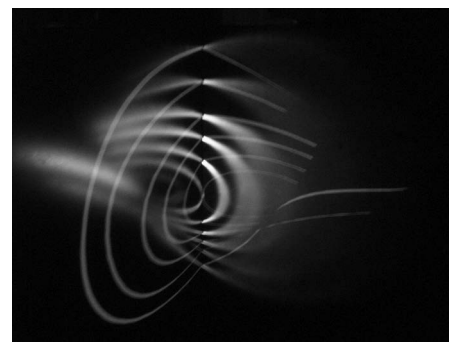
Miből áll ez az egyéni út? Főként az elektrolumineszcencia, ezen belül a fotolumineszcencia jelenségének a differenciált és leleményes felhasználásából, valamint jellegzetes geometriai struktúráiból. A felcserélés, a sorrendváltoztatás egyik jellemző módszere. Szisztematikussága, gondolkodásának következetessége, az az elmélyedő analízis, amely lényegi tulajdonsága, a képi folyamatokban való gondolkodás felé viszi. Lézerrel életre hívott fénykockáit, kockasorozatait is ez élte-ti. Ez a gondolkodásmód magában hordozza a zárt struktúrákon való áttörés igényét, egy összetettebb, az egyidejűséget és az időfolyamatokban való formakibomlás lehetőségét egyaránt magában rejtő világlátást. Felismeri, hogy a fényviszonyoktól függően eltérő lehet a képek olvasata – ugyanazoknak a fényviszonyoknak viszont a kockákon belüli struktúrák változtatásával változik meg a képi olvasata. A festményekre visszatérve, másként tagolják a síkot a fotolumineszcenciára érzékeny, sajátosan aktivált festékekkel létrehozott vonalak, görbék, idomok, mint az átlagos pigmentfestékekkel készültek. Az ismert geometriai struktúráktól eltérő karakterű terek, szimmetriák, dimenziók hozhatók létre álta-



4. kép • Mengyán András: *Bábu* – UV-érzékeny festékekkel készített kép

luk. Festményeinél az ún. „fekete fény” segítségével színei helyenként agresszívák és élénkek lettek, gyakran fekete háttérből bontakoznak ki – a lumineszcencia érvényesülését ezáltal is fokozzák. Ahogy tudjuk, a lumineszcencia az elektronoknak a gerjesztett állapotból az alapállapotba való spontán visszatérését kísérő fényemisszió. Ezeknek a lumineszcencia színeknek eltérő a színtelítettsége és érzékelési intenzitása a gerjesztett állapotot megelőző helyzetben lévő színektől. Mengyán András képeinél tapasztalhatjuk, hogy a *luce nera*, a fekete fény és az UV-aktív anyagok eltérő kombinálása a tudatosan kialakított struktúrákban varázslatos fényhatásokat teremthet. Mindezt imponáló elmélyedéssel és következetességgel hozza létre. Mengyán munkássága a nemzetközi fényművészet mércéjével mérve is komoly teljesítmény.

A fényművészeti tárlatok ezektől eltérő lehetőségeit a fényinstallációk jelentik. Az installáció esetében általában a felhasznált eszközök kölcsönhatásából származik a vizuális élmény. Bortnyik Éva és Tubák Csaba alkotópáros (férj és feleség) *N-dimenzió* című művénél ez egy tompa fényű, feketére festett



5. kép • Bortnyik Éva – Tubák Csaba: *N-dimenzió* – fényinstalláció

V alakú tárgy és az erre vetített, célszerűen kialakított formai metamorfózis egymásra hatása (5. kép). A vetített felület síkszerűsége részben a V alak által, de főként a rájuk vetített formai metamorfózisok következtében és kölcsönhatásában megszűnik. A rendezett, mégis felszabadult játékosággal alakuló geometrikus formák metamorfikus változásai a térbeli élményt tudatosan fokozzák. Ezt tovább növeli az alkalmazott speciális fekete festék sajátos minősége, enyhe tükröződése is.

A nagy teljesítményű videoprojektorok egy évtizeddel ezelőtti megjelenése lehetővé tette a városképi nagyságrendű vetítéseket. A 20000-30000 ANSI lumenes vetítők a megfelelően kialakított számítógépes szoftverek segítségével a környezet és a rávetíthető formák egymásra hatásának vizsgálatát a belső terek intim világából a közösségi élmények kategóriájába vitték át. A brassói születésű Bordos László Zsolt a hazai épületvetítés nemzetközi rangú mestere, a „3D mapping” úttörőinek egyike. A vetítőfelület maga a kihívás, nem sík, hanem egy nagyon határozott téri tagolású és karakterű építészeti struktúra – legyen az a Magyar Tudományos Akadémia vagy a sydney-i Operaház épülete. A valós kép és a virtuális ölelkezése és a látvány gigan-

tikussá fokozódása megsokszorozza a létrehozható képi folyamatok hatását. Közönségvonzása hatalmas. A lézeres élménykeltéshez hasonlóan szétöri azt az izoláltságot, kalitkát, amelybe a modern művészet számos területen belesodródott. Ez a hatásosság egyben a veszélye is, de fiatal korunkban azt hangoztattuk: „a műsát nem szelídíteni kell, hanem vadítani”. Ha megfelelő vizuális leleménnyel és kultúrával rendelkező művész kezébe kerül a lehetőség, az eredmény kiemelkedően meggyőző lehet. Ez történik jó néhány esetben Bordos Zsolt munkáinál is.

Az eszköz nem kvalitást meghatározó, hanem inkább hatásfoknövelő. Egyszerű eszközökkel is teremthető kiemelkedő mű. A fényinstalláció környezete a nagyszabású építészeti külső terek mellett lehet műemléki, akár egy templom belső tere is. Mátrai Erik Velencében megvalósult fényinstallációja esetében nem éreztük a XX-XXI. századi ember profán betolakodását, sőt inkább a kivételes összhangot, a ritka egymásra találást keltette fel a látogatóban a munkája. A San Lio templom főhajójában elhelyezett hatalmas gömb, a tükröződés, valamint a barokk környezet egymásra hatásából létrejövő fényinstalláció tökéletes összhangban volt az adott szakraális térrel, és az általa képviselt művészeti hagyománnyal. A fénypontokból kirajzolódó, a felettünk lévő csillagos égboltot idéző félgömbben a mindenség, a kozmosz talált természetes otthonra a templom belső terében. Ez a szakraális tér szellemiségével összhangot találó fényinstalláció a teljesség, a kegyelmi állapot élményét sugározza.

Ez a rövid összefoglaló inkább jelzés, mint a téma teljességre törekvő összefoglalása. Ez ma még nem történhet meg. A kibomló alakuló fényművészet dinamikája egyre több alkotó számára kínál lehetőséget teremtő ere-

jének kibontakoztatásához. A közönséghez való viszony átértékelését is magában rejti. A ma művészetének olyan területe ez, amely nemzetközileg is kiemelkedő értékeket produkál itt, a Kárpát-medencében. Jó lenne, ha nem késnénk el ezen értékek felfuttatásával és a világnak való bemutatásával. Mert ezen

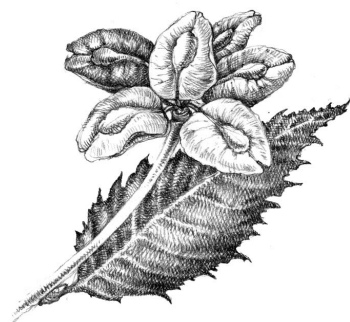
a területen nem a művészek vannak késésben, hanem az értékelők.

Kulcsszavak: *fényfestészet, fénykörnyezet, fénytulajdonságok, optoelektronika, lézersuperpozíciós módszer, lumineszcencia, városképi vetítések, közönséghez való viszony átértékelése*

HIVATKOZÁS

Csáji Attila – Kroó Norbert (1992): The Application of Lasers to Compose Pictures. *Leonardo*. 1, 23–28.

URL1: Moholy-Nagy László: *Fényjáték – Fekete-fehérszürke* (Ein Lichtspiel Schwarz Weiss Grau) • <https://www.youtube.com/watch?v=ymrJLhSellk>



FIZIKAÓRÁK FÉNYFOLTJAI TANÁRI EMLÉKMORZSÁK

Honyek Gyula

középiskolai tanár,
ELTE Radnóti Miklós Gyakorlóiskola
honyek@gmail.com

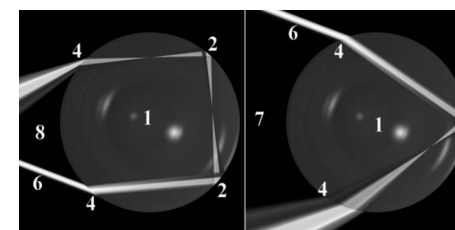
Ez az írás egy pályájának végén járó fizikatanár szubjektív visszaemlékezése néhány „fényes” élményére. 1975-ben végeztem az Eötvös Loránd Tudományegyetem fizikus szakán, ezt követően tíz évet töltöttem az ELTE Általános Fizika Tanszékén, ahol a kutatómunka mellett főként fizikatanár szakos hallgatókat oktattam. Néhány év alatt rájöttem, hogy a tanítást jobban szeretem a kutatásnál, így fizikatanári képesítést szereztem, és 1985-től gimnáziumi fizikatanárként dolgoztam egészen 2011-es nyugdíjazásomig.

Szivárvány

1984-ben (ekkor még az egyetemi tanszéken dolgoztam) *Farkas Csaba* diákköri dolgozatot készített az én témavezetésemmel a szivárványról. Csaba akkor harmadéves matematika-fizika szakos hallgató volt, nagy lelkesedéssel dolgozott, és kiváló munkát végzett. Szivárványt mindenki látott, hiszen meglehetősen gyakori jelenség, de a kettős szivárvány látványában csak ritkán gyönyörködhetünk.

Közismert, hogy a szivárványt esőcseppek hozzák létre. A felhőben lebegő, gömb alakú esőcseppeket megvilágító fehér napfény összetett, tartalmazza a látható spektrum színeit, vagyis a különböző hullámhosszakokat (frekvenciákat), amelyekre nézve a víz törésmuta-

tója kissé változó. Legkevésbé a vörös, legjobban az ibolyaszínű fény törik meg, és ezért a vízcseppből (a prizmaéhoz hasonlóan) színes fénynyaláb távozik. A jobb oldali ábrán olyan sugármenetet látunk, amikor a fény egy belső visszaverődés után lép ki a vízcseppből, ez eredményezi az elsőrendű szivárványt, amit *főszivárványnak* hívunk. A bal oldali felső ábrán a fény fordítva, az óramutató járásával ellentétes irányban halad a vízcseppben, két belső visszaverődés után lép ki, és hozza létre a másodrendű *mellékszivárványt*. A különböző körüljárási irányok magyarázzák, hogy a fő- és a mellékszivárványban a színek sorrendje fordított, és azt is megérthetjük, hogy a mellékszivárvány szélesebb, mint a főszivárvány. További elmélkedést igényel, hogy megfejtjük, miért csak speciális szögben be-lépő sugarak hoznak létre szivárványt (ahogy az *1. ábrán* történik), miközben a napfény



1. ábra • A szivárvány kialakulása (URL1)

teljesen megvilágítja a vízcseppet, illetve, hogy miért éppen 42° alatt látjuk a főszivárványt és nagyjából 52° alatt a mellékszivárványt. Ezt 1637-ben René Descartes tudta elsőként megmagyarázni, aki rájött: csak ezekre a speciális beesési szögekre érvényes az, hogy ha két, egymáshoz nagyon közeli fénysugár lép be a vízcseppbe, akkor ezek kilépéskor is párhuzamosak maradnak. Ezek a beesési szögek a szivárvány színeire kissé különbözőek, vagyis más-más színre kissé eltérnek egymástól. Ha a közel párhuzamos belépő sugarak kilépéskor is párhuzamosak maradnak, akkor az a szín felelősödik, egyébként a széttartó sugarak összekeverednek, és fehér fényt eredményeznek. Ennél tovább középiskolában nem lehet jutni a szivárvány elméleti leírásában, vagyis nem haladhatjuk meg a geometriai optika kereteit. Szélsőérték-számítással (matematika tagozatosokkal) meghatározhatjuk a szivárvány szögeit, azonban további érdekes jelenségeket nem tudunk értelmezni.

Aki figyelmesen megnézte a főszivárvány színeit, észrevehette, hogy nem egyszerűen a színek meg szokott sorrendjét látja felülről lefelé (vörös, narancs, sárga, zöld, kék, ibolya), hanem a kék alatt egyre halványabban ismétlődő lila íveket is láthatunk. Ennek az a magyarázata, hogy a szivárvány interferenciajelenség, minden színre erősödések és gyengítések sorozata jön létre, azonban az elsőrendű maximumok többé-kevésbé elnyomják a többiét. A Huygens–Fresnel-elv szerint a hullámfront minden egyes pontjából elemi hullámok indulnak ki, amelyek interferenciája eredményezi az új hullámfrontot. Síkhullám esetén (homogén közegben) az új hullámfront is sík, ezért terjed a fény egyenes vonalban. A vízcseppbe (a Descartes-féle szögben) belépő síkhullám viszont nem síkhullámként lép ki, hanem hullámos felületként, amely-

nek elemi hullámjai eredményezik a szivárvány színeinek interferenciáját. Matematikailag ezt egy integrállal lehet leírni, amit a szivárvány Airy-féle integráljának nevezünk.

Ha a szivárvány interferenciajelenség, akkor az erősítések és gyengítések okozta jellegzetes vonalsorozatot egyetlen színnel is létre lehet hozni. Ezt valósította meg egyetlen vízcseppen Farkas Csaba vörös színű hélium-neon lézerrel (ami akkoriban terjedt el a világ oktatási intézményeiben). A vízcsepp egy függőleges üvegpálca végén függött, amit vízszintes lézersugárral világított meg. Nemcsak a fő- és a mellékszivárványt észlelte az elsötétített laborban, hanem egészen a 13-ad rendű szivárvány megfigyeléséig is eljutott. Számítógépes programot is írt az akkor korszerűnek számító ABC-80-as gépre, amit színes tévéhez lehetett kapcsolni. Erről dolgozatában úgy készültek képek, hogy a színes tévé képernyőjét filmes fényképezőgéppel lefényképezte. (Mielőtt megmosolyogjuk az elavult technikát, gondoljunk arra, hogy a fény évében jelen folyóirat csak fekete-fehér képeket közöl.)

Fényfoltok szappanhártyán

1988-ban Baranyai Klára ötödéves matematika-fizika szakos hallgató (ELTE) szakdolgozati témavezetője voltam. Dolgozatának címe: *Színek megjelenése különböző fizikai kísérletekben*. A kiváló és igen részletes szakdolgozat talán legélvezetesebb része egy híres kísérletező, Jearl Walker (1987) cikkében szereplő demonstráció adaptálása volt. Mindannyian láttunk már színes csíkokat, foltokat szappanhártyán, szappanbuborékokon. Ebben az esetben egy viszonylag nagyméretű, hagyományos, kocka alakú teásdoboz kör alakú nyílására kell kifeszíteni a szappanhártyát. A doboz belsejét fekete, fényelnyelő anyaggal

kell borítani, hogy amikor a hártát megvilágítjuk, akkor csak a róla visszaverődő fényt észleljük, ne zavarjon a doboz belsejéből visszaverődő fény. A hártát képét ernyőn jeleníthetjük meg. A 2. ábra mutatja a kísérleti összeállítást.

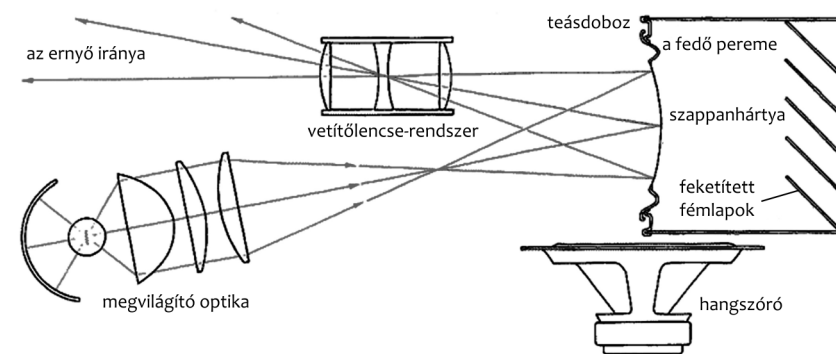
Idézek a szakdolgozatból: „A kezdetben szürke kép felülről lefelé haladva kiszínesedik. Vízszintes színes csíkok jelennek meg, amelyek lassan lefelé vándorolnak. A felső csíkok egyre szélesebbek lesznek. Hosszú idő után a hártát teteje elveszti színét, az ernyőn feketének látszik. Ezután a hártát elpattan.”

A jelenség magyarázata, hogy a szappanhárta első és hátsó felületéről is történik visszaverődés, és ez a két fénynyaláb interferenciára képes. Furcsa színek jönnek létre (ugyanúgy, mint például az olajfoltokon), nem a prizma színekének szép tiszta színeit látjuk. Ennek az a magyarázata, hogy bizonyos színek esetében erősítés, más esetekben gyengítés, esetleg teljes kioltás is történhet, és ezek keveréke jut a szemünkbe. A függőleges szappanhárta két felülete közötti folyadék lassan lefelé mozog, ezért vastagsága felülről lefelé egyre nő. A színeket a rétegvastagság határozza meg. Erősítéskor az optikai útkülönbségnek a fél hullámhossz páros számú

többszörösének, gyengítéskor páratlan számú többszörösének kell lennie. Ezért ismétlődnek a színek, ezért alakulnak ki a csíkok. Amikor a hártát felül már annyira elvékonyodik, hogy a látható fény hullámhosszával sokkal kisebb lesz, akkor már sem erősítés, sem gyengítés nem történik, ilyenkor egyáltalán nem verődik vissza fény a hártáról, hanem a megvilágító fény teljesen áthalad rajta, ezért a hártát felső részét egyre szélesebben feketének látjuk, csak alatta maradnak meg a csíkok. Hanghullámokkal kör alakú rezonanciaábrákat kelthetünk, mert így állóhullámokat alakíthatunk ki a hártában. A tanulók különösen azt élvezték, amikor az akkoriban népszerű heavy metal zene ütemére mozgott, kavargott a színes „szappanhárta-forgatag”.

Autók középső visszapillantó tükrére

A legtöbb gépkocsivezető tudja, hogy ha az autók középső visszapillantó tükrén egy kis kallantyút elfordítunk, akkor ugyanaz a tükörkép jelenik meg, de halványan, ami éjszakai vezetéskor hasznos lehet, hogy a mögöttünk haladó jármű fénye ne vakítson el minket. Gyárilag ezek a középső tükrök síktükrök, vagyis se nem nagyítanak, se nem kicsinyítenek (persze vannak, akik ezt a tükröt dombo-



2. ábra • A Jearl Walker-féle kísérleti elrendezés

rú, tehát kicsinyítő panorámatükörre cseréljük). Egyszer valahogyan eszembe jutott, hogy megértsem, hogyan működnek ezek a közeplő tükrök. Sehhol sem találtam leírást róluk (lehet, hogy rosszul kerestem, mert mára már axiómává vált, hogy az interneten minden fent van), ezért megkérdeztem a kollégáimat, ismerőseimet, hogy mit tudnak erről. Mivel nem kaptam választ (illetve olyan bonyolultak voltak a javasolt megoldások, hogy azokat elvetettem), így magam próbáltam megfigyeltetni a rejtvényt, ami végül is sikerült.

Az autók középső visszapillantó tükrének a „trükkje” az, hogy bár a tükrök homloklapfelülete is sík, hátlapja is sík, de ez a két sík nem párhuzamos, hanem $5-6^\circ$ -os szöget zár be egymással. A hátlap foncsorozott, vagyis ezüst-, illetve alumíniumtartalmú bevonattal van ellátva, ami nagyon jó fényvisszaverő. Ezzel szemben a homloklapfelület egyszerű üveg, ami részben visszaveri, részben átengedi a fényt. Ha tehát úgy forgatjuk a tükröt, hogy a hátoldali tükröző felület a szemünkbe juttatja a visszavert fénysugarakat, akkor fényerős képet látunk, ha pedig éjszaka elforgatjuk a tükröt, és a homloklapfelületét használjuk fényvisszaverő közeghatárnak, akkor gyenge fényintenzitású képet láthatunk.

A tükrök működését jól szemlélteti, ha lézer-mutatópálcával megvilágítjuk, és egy ernyőre vagy a falra kivetítjük a visszavert sugarakat. A visszavert fényfoltok egy egyenes mentén helyezkednek el, egymástól meglehetősen nagy távolságra, és általában négy-öt, esetleg még több foltot is megfigyelhetünk. Ezek közül az első gyengébb, mint a második: az első használjuk éjszakai vezetéshez, a másodikat nappal, azonban fokozatosan gyengülve még további visszavert sugarakat is láthatunk. Ez azért van, mert a fénysugár egy része ide-oda „pattog” a két üveglap között,

miközben gyengül, ahogy egyre több sugár lép ki a homloklapon.

Manapság a fizikatanításnak sok nehézséggel kell megküzdnie, ezek közül az egyik az, hogy az órákon jól bevált gyakorlati alkalmazásként tanított eszközök elavulnak. Például ma már nem használnak fotocellát; alig használják a bimetált; hiába vannak sorba kötve a karácsonyfaizzók, nem alszik el a fűzér, ha kiég egy izzó, hanem fogja magát, és azonnal rövidzárrá alakul; a mágneses memóriákat elektrosztatikus elven működő memóriakártyáiban, és még hosszan sorolhatnánk. Hasonló dolog történt az autók középső visszapillantó tükrével is. A legújabb autókban már nincs kis kallantyú a tükrön, mert a tükrök automatikusan észleli a külső és belső fényviszonyokat, „tudja”, hogy éjszaka van, és „érzi”, hogy túlságosan erős a mögöttünk jövő jármű fénye, ezért elsőtétíti a tükrök képét. Fototranzisztorral vagy fotodiódával érzékeli a jármű a fényintenzitást, és az ún. elektrokromatikus hatást kihasználva sötétíti el az üveget meglepően gyorsan és minimális energiafelhasználással. Vannak manapság már okos üvegek (*smart glass*) is, nemcsak okos telefonok és okos tévék. Lassan a környezetünkben lévő tárgyak mind „okosabbak” lesznek, mint mi, legalábbis sokszor ilyen érzések támadhatnak bennünk.

Háromdimenziós szemüvegek régen és most

A fényképezés, a mozi megjelenésével egyidejűleg felmerült az emberekben az igény, hogy a képet térben lássuk, amit ma már a fiatalok mind így mondanak, hogy 3D-ben. A háromdimenziós fényképezés valamikor a XIX. század végén kezdődött, amikor két különböző szögből fényképezték le ugyanazt a tárgyat, és a két papírképet egy olyan eszközzel

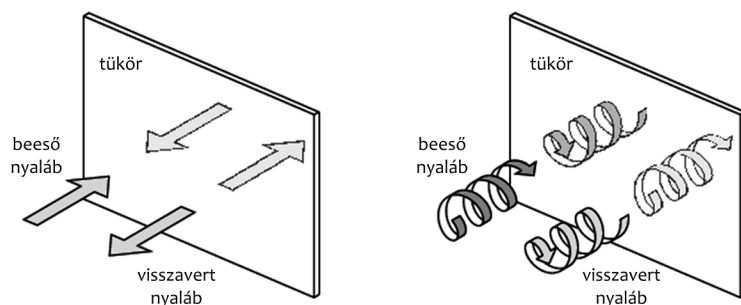
(a sztereoszkópba) tették, hogy egyik szemünkkel csak az egyiket, másikkal csak a másikat lássuk. A múlt század első felében minden gimnázium szertárában volt ilyen eszköz, tartozott hozzá gazdag képsorozat, amelyek egy-két középiskola jól őrzött szertárában még ma is megtalálhatók.

Évtizedekkel ezelőtt sokan jóslták, hogy a holografikus film lesz a térbeli mozi megoldása. A jóslat nem vált be, ám egyre népszerűbbek a multiplex mozikban a 3D-filmek, amelyeket a közönség speciális szemüveggel lát három dimenzióban. Ha megkérdezzük egy fizikatanárt, hogyan működik az ilyen mozi, mire való a szemüveg, nagy valószínűséggel a következő választ kapjuk: A szemüvegben a két lencse helyén polárszűrőket találunk, amelyek csak egymásra merőleges polarizáltságú fényt engednek át. A moziban két vetítógép két képet vetít a vászonra, de úgy, hogy ezek a képek polarizált fényűek, továbbá a két kép egymásra merőleges polarizáltságú. Az egyik szemünkbe csak az egyik kép juthat el a szemüvegen át, míg a másik szemünkbe csak a másik, és az agyunk a két képből térhatású látványt hoz létre. Nagyjából ez lenne a tanárok válasza, ami régebben helyes is volt, mára azonban némiképp megváltozott a helyzet.

A mai 3D-mozikban nem lineáris polárszűrőket használnak, hanem ún. cirkulárisan polárosakat. A lineáris polárszűrő a polarizálatlan fényből olyat állít elő, amelyben az elektromos vagy a mágneses mező rezgése egyetlen síkban történik. Ilyen polárszűrőket hosszú, párhuzamos molekulákat tartalmazó műanyag lemezekkel tudnak a legegyszerűbben előállítani, és régebben valóban ilyen lemezek voltak a 3D-szemüvegekben. A cirkuláris polárszűrőkön áthaladva a fény megcsavarodik, mintha egy csavarvonal haladna

előre. Az elcsavarodás lehet jobbsavár vagy balcsavar, amit úgy képzelhetünk el, hogy a fény a kiegyenesített hüvelykujjunk irányába halad, miközben a többi ujjunk mutatja az elcsavarodás irányát. A mai mozikban azért változtattak a régihez képest, mert a régi rendszer csak akkor működött tökéletesen, ha teljesen egyenesen tartottuk a fejünket. A mai 3D-mozikban akármerre dönthetjük a fejünket, ugyanolyan jól érvényesül a térhatás.

Érdekes kísérletet végezhetünk, ha mindkét fajta (régi és új) szemüvegünk is van. Először vegyük fel a régi szemüveget, és álljunk tükrök elé, mondjuk a fürdőszobában, ha ott elég erős a fény. Csukjuk be az egyik szemünket, és nézzük meg a tükrökben a tükröképünket. A nyitott szemünket látjuk, a csukott szemünket viszont nem, olyan, mintha átlátszatlan fekete fólia lenne a szemüvegben a csukott szemünk oldalán. Ezt könnyen megérthetjük, hiszen a nyitott szemünkről a tükrökbe érkező kép éppen olyan polarizáltságú, mint amit a nyitott szemünk előtti polárszűrő átenged, a tükrök nem változtatja meg a lineárisan poláros fényt. A csukott szemünkről érkező, merőleges polarizáltságú fényt a nyitott szemünk előtti szűrő nem engedi át, ezért nem látjuk a csukott szemünket (3. ábra, balra). Ha viszont ugyanezt a kísérletet az újfajta 3D-szemüveggel végezzük, akkor az a furcsa látvány fogad, hogy éppen fordítva, a csukott szemünket látjuk a nyitott szemünkkel, viszont a nyitott szemünket nem látjuk, mert előtte feketévé válik a fólia. Ennek az a magyarázata, hogy az elcsavarodást a tükrök nem változtatja meg, de a haladási irányt igen, amint ez a 3. ábra jobb oldalán látható. Vagyis a tükrök a jobbsavarból balcsavart, a balcsavarból jobbsavart állít elő. Tehát ha mondjuk a csukott szemünk előtt lévő polárszűrő balcsavart hoz létre, akkor ebből



3. ábra • Kísérlet térhatású képet előállító szemüveggel

a tükör jobbsavart képez, amit viszont a nyitott szemünk előtti polárszűrő átenged, ezért látjuk a csukott szemünket. Viszont a nyitott szemünkből jobbsaváros fény érkezik a tükrre, ami balcsavárosként verődik vissza, de ezt nem engedi át a nyitott szemünk előtti polárszűrő, tehát nem láthatjuk a nyitott szemünket!

Szemüvegek és kontaktlencsék

Hagyományosan a fénytan tanításakor az egyik legfontosabb alkalmazásként a szemüveget szoktuk emlegetni. Furcsa módon a kontaktlencséről szinte soha nem teszünk említést. Pedig a világban igencsak elterjedőben vannak, leginkább az Egyesült Államokban és Japánban. Ahogy a szemüvegek esetében is, ugyanígy a kontaktlencsék terén is hatalmas a fejlődés. Vannak már bifokális, illetve multifokális kontaktlencsék is, ez utóbbiakat szokás nálunk progresszív lencsének is hívni. Ezeknek meghatározott helyzetben kell állniuk, hogy például az alsó részük erősebb dioptriájú, a felső pedig gyengébb dioptriájú legyen. Az állandó pozíciót például úgy lehet elérni, hogy a kontaktlencse alsó peremét kissé nehezebbre gyártják, és egyszerűen a gravitáció mindig beforgatja a kontaktlencsét a megfelelő helyzetbe, hiszen ezek

a lencsék szinte úsznak a szaruhártya állandóan folyadékkal borított felületén.

Sokan vannak, akiknek van szemüvegük is, kontaktlencséjük is, és szerencsés esetben mindkettővel élesen látnak. Érdekes megfigyelést tehetünk arról, hogy ugyanakkorának látjuk-e a tárgyakat kontaktlencsével, illetve szemüveggel, mint puszta szemmel. Nem könnyű a megfigyelés, mert csak akkor hordunk szemüveget vagy kontaktlencsét, ha nélkülük nem látunk tisztán. Mégis azt a talán meglepő megállapítást tehetjük, hogy a kontaktlencsék gyakorlatilag nem változtatják meg a tárgyak látszólagos méretét, velük mindent ugyanakkorának, csak élesebbnek látunk. Ezzel szemben, ha pozitív dioptriás szemüvegünk van, akkor nagyobbak látjuk a világot, ha viszont negatív dioptriára van szükségünk, akkor szemüveggel minden kisebbnek látszik. Ennek az a magyarázata, hogy ha a korrigáló lencse nagyon közel van a szemünkhöz (ez a kontaktlencse esete), és ha mondjuk négyszeres nagyítású képet állít elő a szemünktől 25 cm-re lévő könyvről, akkor a lencse által előállított látszólagos kép éppen négyszer messzebb, tehát a szemünktől 1 méterre keletkezik. A kép négyszer nagyobb, de négyszer messzebb is van, tehát ugyanakkorának látjuk, mint kontaktlencse

nélkül. Persze mindez nagyon kellemes a számunkra, mert az 1 méterre lévő dolgokat már tisztán látjuk a pusztá szemünkkel, viszont az 1 méterre lévő könyv betűi már olyan kicsiknek tűnnek, hogy nem tudjuk elolvasni, hiába nyújtjuk messzire a kezünkben lévő könyvet. A szemüvegek lencséje néhány milliméterre van a szemünktől, ezért a fenti érvelés csak közelítőleg érvényesül, ilyenkor a látásunk szögnagyítása kissé megváltozik.

Elgömbülő fény változó koncentrációjú oldatokban

Végezetül egy érdekes jelenségről írok, amelyet lehet elméleti feladatként is tárgyalni, de talán még érdekesebb a kísérleti megfigyelése. Azt szoktuk mondani, hogy a fény egyenes vonalban terjed, de ez a kijelentés csak homogen közegre érvényes. Ha például különböző koncentrációjú sóoldatokat rétegezzük egymásra, de még jobb, ha ugyanezt vizes cukoroldatokkal tesszük, akkor jól megfigyelhető, hogy a fény elgömbül az oldatban. Történt egyszer, hogy egy népszerű országos verseny számára kértek tőlem feladatot, és én éppen ezzel a jelenséggel kapcsolatban fogalmaztam meg a kérdést, amely lényegében így hangzott: „Egy közegben függőleges irányban változik az optikai törésmutató. Erre merőlegesen vékony fénysugarat indítunk, amely a közegben körív mentén halad. Hogyan függ a törésmutató a magasságtól?” (Gnädig et al., 2014) A feladat nagy felháborodást váltott ki nemcsak a diákok, hanem a tanárok részéről

is, amit a verseny szervezője végül úgy szerelt le, hogy kísérletileg megvalósította az összeállítást, és láthatóvá tette a jelenséget.

Mi okozta a felháborodást? Mit gondoltak a versenyzők? Úgy érveltek, hogy a törésmutató csak függőlegesen változik, vízszintesen nem, tehát a vízszintesen érkező vékony fénysugár csak egyféle törésmutatóval „találkozik”; azzal, amit a közegbe lépésekor talál, tehát egyáltalán nem térhet el az egyenes iránytól. Erre a megállapításra a diákokat (és számos kollégát is) az vezette, hogy a geometriai optika végtelen vékony fénysugarát akarták alkalmazni erre az esetre is. Azt kellett volna észrevenni, hogy nincs végtelenül vékony fénysugár, hanem csak véges vastagságú létezik. Ha tehát a törésmutató függőlegesen változik, mondjuk, felfelé csökken, akkor a nyaláb teteje olyan közeget észlel, amelyben gyorsabb a fény, az alja viszont lassabban halad, vagyis a fénysugár lefelé elgömbül!

A fizikában nagyon sokszor egyszerű modelleket használunk, és időnként előfordul, hogy olyannyira megszokjuk ezek használatát, például a geometriai optika esetében, hogy már el is felejtjük, hogy minden modellünknek megvannak a maguk korlátai, és még akkor is az egyszerűsített modellt erőltetjük, amikor annak már nincs meg a létjogosultsága. Szép is, nehéz is a fizikatanár élete.

Kulcsszavak: *fizikatanítás, szivárvány, interferencia, visszapillantó tükör, 3D-mozi, kontaktlencse*

IRODALOM

- Gnädig Péter – Honyek Gy. – Vigh M. (2014): 333 *furfangos feladat fizikából*. Typotex, Budapest
Walker, Jearl (1987): Music and Ammonia Vapor Excite the Color Pattern of a Soap Film. *The Amateur*

Scientist. Aug. • <http://optica.machorro.net/Optica/SciAm/Bubbles/1987-08-fs.html>
URL: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rainbow_formation.png

Tanulmány

RUDAPITHECUS HUNGARICUS: EGY NEMZETI ÉRTÉK ÖTVEN ÉVE

Kordos László

a földtudomány doktora
kordoslaszlo@gmail.com

1965-ben a gyakorlott szemű rudabányai geológus a bánya törmelékes felszínén észrevette, lehajolt érte, majd zsebre vágta. Két évvel később Hernyák Gábor munkahelyi fiókjából egy cukros zacskóban vándorolt Budapestre a porladó, fura állkapocstörődék. A Földtani Intézetben az akkor hatvanéves szakértő, Kretzoi Miklós asztalán kötött ki, akinek a feje elvörösödött, szemüvegét homlokára tolta, majd a tudós néhány nap múlva, a *Magyar Nemzet* című napilapban, 1967. október 10-én megjelent rövid interjúban közölte felfedezését: „Ez a lény már nem volt majom, de még ember sem, csupán megindult az emberfejlődés útján, 6–10 millió évvel ezelőtt élt.” A leletet mint újonnan felfedezett emberszerű ősmajmot *Rudapithecus hungaricus*-nak nevezte el.

2015-ben a helybeliek által csak *Majomsziget*-ként emlegetett legfontosabb *Rudapithecus*-lelőhely megvédésére és bemutatására Rudabánya Város Önkormányzatának európai pályázati támogatással egy 40×20 méter alapterületű, nyolc méter magas, rongálásbiztos, a „minimal design” stílusjegyeit követő be-

tonkomplexumot kell felépítenie. A munka megkezdődött, és az alapok árcai eddig nem látott, csak sejtett-tudott földtani rétegsorokat tártak fel. Az építkezés önmagában is jelentős veszélyt jelent a még érintetlen földtani, őslénytani és az emberiség kulturális örökségének tízmillió éven át megőrzött, „kőbe zárt” információira. Ezért még a munkálatok megkezdése előtt a korábban feltárt és megvédett felszínt geofóliával, majd vastag dolomitmurva réteggel kellett lefedni. Erre azért is szükség volt, mert a legjelentősebb *Rudapithecus Gabi* becenevű koponyája és több csontja évekkel ezelőtt az alig 15 centiméterrel a felszín alól került elő, ott, ahol a helyi fiatal-ság előszeretettel ugratta motorját...

Az épület alapozásakor kirajzolódtak a tíz- vagy akár több millió évvel korábban, a középső miocénben létrejött rudabányai hegyvonulatot felszabdáló mélyedéseket kitöltő üledékek. A *Majomsziget* a vasérc bányászatának egyik értéktelen meddőként felhagyott területe, ahol a völgy érces oldala it már korábban lefejtették. A vörös színű vasérces dolomit- és mészkőszirtek között a

partra kifutó tó és mocsár vizében 6–10 m vastag sárgászöröses-szürke színű mocsári tarkaagyag, majd meszes agyagok és lignitrétegek halmozódtak fel: az ősmajmok és más állatok és növények világszerte páratlan gazdagságú temetője.

A „Majomsziget” építkezésének megkezdésekor az őskarsztos sárga színű agyagos karr-kitöltéséből az első előkerült ősmaradvány, egy a rudabányai gerincesek közül jól ismert disznófaj (*Propotamochoerus palaeochoerus*) fiatal egyedének egymáshoz csatlakozó fogai voltak. Már a korábbi vizsgálatokból tudjuk, hogy a *Rudapithecusszal* egy időben két disznófajt lehetett kimutatni, amelyek nagyrészt a mocsár partjain nőtt fák gazdag gyökerei között éltek és táplálkoztak. A fák között valószínűleg mocsárciprusok is voltak, amelyek függőleges helyzetű légzőgyökereit a mostani leletek közelében már korábban sikerült feltárni. A völgyoldal mészkőszikláiba mélyedő gyökereknek pedig nagy szerepük lehetett az őskarszt mélyedéseinek létrejöttében. A karokat kitöltő sárga színű mészkőmáladékban *in situ* körülmények között az ott élt állatok közül először ennek a kihalt malacnak a fogait lehetett kimutatni.

A beépítendő terület legfelső, már csak néhány tíz négyzetméternyi területen megőrzött lignites rétegeből pedig egy gumósfogú őselefánt, a masztodon rendkívül öreg, lekopott foga mellett igen sok, más nagyemlőstől származó csonttörödéket lehetett a helyszínen begyűjteni. A szitákon eddig átmosott mintákban, valamint a lignitből álló kőzetlapokban gyakoriak a vízben élő kolokán (*Stratiotes*), valamint kimutathatók a kihalt páfrányfenyő (*Ginkgo*) magjai. A lignitből az egykori mocsárban rögzült fák elágazó gyökerei hatolnak a mélyebben fekvő tavi és a mocsárba beszálított, majd ott leülepedett partszegélyi kő-

zetrétegekbe. Szemmel látható új bizonyítékok arra, hogy a rudabányai mocsár partmenti vizében gazdag, zárt, lebegő és gyökerezett növénytársulás volt.

A Rudapithecus hungaricus és az emberré válás

Az elmúlt ötven évben közel háromszáz ősmajom maradványa került elő Rudabányáról, közöttük négy töredékes koponya: 1975-ben egy hím egyedé (RUD-44). 1985-ben egy idős nőtényé (RUD-77), 1999-ben egy fiatal nőtényé (RUD-200) összetartozó koponyája, majd 2006 és 2009 között ugyanezen egyed állkapcsa, medence- és combcsontpárja, valamint néhány ujjperce és kézközépcsontja. A *Rudapithecus* és lelőhelyegyüttése azért hungarikum, mert Magyarország területéről került elő, és azért globális jelentőségű, mert az ember, a *Homo* eredetének világszerte meghatározó bizonyítéka. Természetesen máshol is vannak hasonló korú és jelentőségű leletek. Európában főleg Spanyol- és Görögországban, Afrikában pedig Kenyában és Namíbiában.

A *Rudapithecusnak* az emberré válásban betöltött szerepét minden kutató a saját szemzőgéből és érdekvizonyai alapján ítéli meg. Kretzoi Miklós az 1970-es években közvetlenül az előemberhez vezető ázsiai kapcsolatot feltételezte, és kizárta az emberré válásból az akkor favorizált afrikai eredetet. Hatására több amerikai vezető kutatócsoport új kutatásokat kezdeményezett Pakisztánban. Egy ősorángután koponya (*Sivapithecus*) előkerülése után azonban világossá vált, hogy a feltételezett *Rudapithecus*–*Ramapithecus* kapcsolat nem létezik, nincs közük egymáshoz és így az ember ázsiai származásához sem. Az újabb fordulat az 1985-ben felfedezett RUD-77 számot viselő, idős nőténytől származó *Rudapithecus*

koponyájának köszönhető. Jelen sorok írója arra a megállapításra jutott, hogy a RUD-77 koponyából az anatómiai jellegzetességek alapján mind az emberhez, mind a ma élő afrikai csimpánzhoz és a gorillához vezető leszármazási kapcsolat lehetséges. Ugyanakkor Dél-Kínában olyan mennyiségű, korábban a tudományos világ által alig, vagy egyáltalában nem ismert emberszabású ősmajomlelet került elő, amelyek újra előtérbe helyezték a 8–10 millió évvel ezelőtt élt emberszabásúak európai és ázsiai rokonsági kapcsolatairól kialakult korábbi nézeteket.

Rudabányáról nézve az 1990-es években az emberré válás korai szakaszáról a paleoantropológusok között két szélső nézet alakult ki. A 10 millió évvel ezelőtti rudabányai élővilág 7–8 millió évvel ezelőtt egy globális környezetváltozás hatására 80–90%-ban teljesen kicserélődött. A korábbi szubtrópusi, nedves erdei ökoszisztémát felváltotta a nyílt, szárazabb, szavannára emlékeztető élővilág. Egész Euráziából eltűntek a nem orángutányszerű emberszabású majmok, és helyettük megjelentek a *Mesopithecus* majmok. Ebből arra is lehet következtetni, hogy a *Rudapithecus* és rokonai utódok nélkül kihaltak. Mások a környezetváltozás következtében Afrikába visszahúzódó meleg, nedves erdei környezettel együtt az Afrikába visszavándorló *Rudapithecus* leszármazottakban látják a hominizáció genetikai folyamatosságát. A *Rudapithecus* megítélésének két szélső lehetősége között számtalan más nézet is megpróbálta betölteni a kínálóztó űrt. Az 1990-es években a kutatók már megunták, hogy egy-egy újabb csontleletet másnak neveznek el, miközben értékelhető különbség alig volt közöttük. Európából az első leletet 1856-ban Edouard Lartet francia kutató *Dryopithecus*-nak nevezte el, és a nevezéktani káosz után megnyugvást jelentett

az a megoldás, hogy a 9–12 millió évvel ezelőtt Európában élt emberszabásúakat általában a *Dryopithecus* nemzetségbe sorolják. Ez a szemlélet egy ideig a *Rudapithecus* nevet is törölte a tanulmányokból, főleg akkor, amikor a nevezéktani prioritásra hivatkozva még egy ellentmondásosan megítélhető alsó bölcsességfog alapján a *Rudapithecus hungaricus* faji nevét is elveszítve *Dryopithecus brancai* néven futott a nemzetközi szakirodalomban, majd a világhálón is. Újabb, főleg spanyolországi leleteknek (*Pierolapithecus*, *Aniopiaithecus*) kellett felszínre kerülniük ahhoz, hogy a linnéi nevezéktan örökmozgó játékában ma már ismét eredeti nevén nevezzük a *Rudapithecus hungaricus*-t. Az is igaz, hogy a spanyolok saját leletük alapján a *Rudapithecus*-t inkább *Hispanopithecus hungaricus*-nak tartják. Az ezredforduló első évtizedében egyre-másra tárták fel Afrikában a *Rudapithecus* kortársainak tekinthető csontokat és fogakat (*Nacholapithecus*, *Orrorion*, *Chororapithecus*, *Samburapithecus* stb.). Kutatóik érdeke szerint ezek vagy helyi eredetűek vagy eurázsiai bevándorlók lennének. Az elgondolások mögött olyan jelentős, kézzelfogható, a korábbiaknál jóval több információt hordozó leletek állnak, amelyeket a kutatóik meggyőződéssel vállalhattak, miszerint ők találták meg az ember és a csimpánz vagy a gorilla közös őst. Minden más ősmajom a bokor- vagy hálózatszerűen elképzelhető leszármazási felhő mellékága lehetett. Arról, hogy a *Rudapithecus* milyen módon kapcsolódik feltételezhető mai utódaihoz, ötven év alatt legalább ötször változott meg a tudomány álláspontja. Az viszont senkit sem érdekel, hogy honnan származik a *Rudapithecus*, és kik voltak elődei.

Szemközt: M. Nagy Szilvia rajza



Milyenek voltak?

A *Rudapithecus* maradványokkal paleobiológiai szempontból sokan és sokféleképpen foglalkoztak. A felegyenesedett járásáról szóló kezdeti elgondolásokat hamar megcáfolták, és a legelfogadottabb nézetek szerint a *Rudapithecus* fán élő, négy lábon mozgó, időnként függeszkező életmódot folytató emberszabású majom volt; farka nem lévén, annak a mozgásában sem volt szerepe. A mozgásviszonyok evolúciójára és rekonstruálására a RUD-77 számú koponyában megőrződött csontos belső fül félköríves csatornarendszer (*semicircular canal*) 3D mikrokomputeres vizsgálata kimutatta, hogy az *anthropoidák* (igazi majmok) mozgása a késő eocén megjelenésüktől kezdetben viszonylag lassú, a dél-amerikai miocén szélesorrú majmok (*platyrrhinák*) a korábbiakhoz képest gyorsabb mozgásúak voltak. A *Rudapithecus* mint a fejlett catarrhina (keskenyorrú majom) főemlősökhöz tartozó *hominida* (emberféle), másodlagos alkalmazkodással lett lassú mozgású. A *Gabi* nevű *Rudapithecus* csontvázteredékéhez tartozó medencecsontok háromdimenziós lézerszkennelési módszerrel végzett vizsgálatából megállapították, hogy annak anatómiai részletei különböző mértékben alakultak át. Medencecsontja (*pelvis*) mellett, hogy több ősi, primitív karaktert megőrzött, a ma élő nagy emberszabású majmokéhoz hasonlít a legjobban, mozgásában fán élő (*arboreal*), az alsó ágakhoz kötődő életmódot folytathatott. A *Rudapithecus* a korábban, 16–18 millió évvel ezelőtt élt afrikai *Proconsul*nál mozgékonyabb és egyenesebb tartású hátsó lábon mozgott, de két lábon járónak semmiképpen sem tekinthető. Természetesen a kutatók fejében mindig ott motoszkál az alapkérdés, hogy leletük „lejött-e már a fáról”, és tudott-e két

lábán járni. Tény, hogy a ma élő és eddig megtalált kihalt emberszabásúak mindegyike másként mozgott.

A csontmaradványokból látszólag könnyen eldönthető kérdés, hogy az adott állatfajnak melyik a hím és a nőstény példánya, milyen mértékű közöttük a nemi különbség, az ivari dimorfizmus. A nőstények a faj hasonló morfológiai jellegzetességei mellett általában kisebbek, gracilisabbak a hímeknél, utóbbiak szemfogai pedig jelentősen nagyobbak. Mindezek ellenére az emberré válás kutatásában többször előfordult, hogy a hím és a nőstény egyedek maradványait két külön nembe sorolták (például: *Sivapithecus* és *Lufengpithecus* Kínában; *Sivapithecus* és *Ramapithecus* Indiában és Pakisztánban). Az összehasonlító morfometriai vizsgálatok Rudabányán is kimutatták, hogy a *Bodvapathecus* a *Rudapithecus* hímje volt, egy fajba tartoznak, és méretvariációjuk a mai *Pan* (csimpánzok) tartományába esik. A hím példány (RUD-44) a ma élő *Pan troglodytes* (csimpánz) 47 kg-os, az idős kort megélt nőstény (RUD-77) a 34 kg-os *Pan paniscus* (törpe csimpánz vagy bonobo) átlagos testtömegének felelhet meg. A fiatal nőstény *Gabi* (RUD-200) mindössze 18–26 kg-os lehetett. Termete (testhosszúsága) nem haladta meg a 120–130 centimétert.

Az idős nőstény *Rudapithecus* (RUD-77) agykoponyája 1985-ben, felfedezése idejében különösen jelentős volt, mert ha töredékesen is, de torzulásmentesen megőrződött. Akkoriban a 16–9 millió évvel ezelőtti időszakból mindössze az afrikai *Proconsul africanus* és a lapossá préselődött kínai *Lufengpithecus* koponyáját ismerték a kutatók. Különböző számítások alapján agytérfogata 300–340 cm³, a később megtalált fiatal nőstény példányé (RUD-200) pedig 280–300 cm³ lehetett. A ma élő kisebb méretű nőstény csimpánznak

és a törpe csimpánznak (bonobo) hasonló az agytérfogata. Ugyanakkor az ember kialakulásához vezető leszármazási vonalak leletei alapján 4–6 millió évvel ezelőtt az agy térfogata még csak 400 cm³, majd 600 cm³ volt. Gyors növekedése (800–1000 cm³) jóval később, csak 1,8 millió évvel ezelőtől követhető. Az első köeszközöket 3,4–3,6 millió évvel ezelőtt még a kis agytérfogatú („majomagyú”) lények készítették. Az agytérfogat és az agy funkcionális átalakulása az emberré válás esetében az eszközkészítéssel nem mutat közvetlen összefüggést.

Mit ettek?

Napjainkig nyitott kérdés, hogy mivel táplálkozott a *Rudapithecus*. Az 1990-es évek első felében több olyan új „sztármódszer” alkalmaztak a kihalt emberszabásúak táplálkozási módjának és élelemforrásának rekonstruálására, amelyek nagy része azóta vitatható közhelyé vált. A legegyszerűbb módszer abból indult ki, hogy a puha táplálékot fogyasztó majmok fogzománca vékony, a kemény növényeket rágóké pedig vastag. A törött fogakból és a fogzománc kopásával előtűnő dentinen végzett egyszerű vizsgálat alapján a *Rudapithecus* a vékony zománcúak közé tartozott. Az egy egyedhez tartozó *Rudapithecus* koponya és állkapocs (RUD-200, 212) végleges fogazatának fogzománc fejlődését, növekedésének ütemét újabban a hagyományos mikrotomográfiás és a 0,7 mikron felbontású *X-ray synchrotron microtomography*, Grenoble-ben elvégzett vizsgálatok további részletekkel egészítették ki. A metsző- és előzáfogak átlagos vastagsága a mai csimpánzzal megegyező, de vékonyabb az orangutánénál. Ugyanakkor a záfogak esetében fordított a helyzet. A fogzománc külső felszínén és belső szerkezetében is kimutatható növe-

kedési vonalak (*perikymata*) periódusa hét nap volt, s mindezekből számítva a *Gabi* nevű fiatal nőstény *Rudapithecus* kb. 10–12 éves korában pusztulhatott el.

Egy másik kutatási irányzat az „utolsó vacsora” fogakon megjelenő kopásvizsgálattal alakult ki. Az őrlőfogak legjobban igénybe vett rágási felületein kb. egy hónapig fennmaradnak a különböző tápláléktípusok okozta sérülésnyomok, amelyeket fokozatosan „felülírnak” az újabbak. Amikor az állat elpusztul, utolsó hetei tápláléktípusának megfelelő mikroszkopikus (*microwear*) vagy kisebb nagyítással (*mesowear*) is tanulmányozható nyomok utalnak a táplálék típusára. A puha növények, gyümölcsök sekély és vékony hálózatosakat, a fűfélék erőteljes, mély vajatokat, a kemény részek (magok, kérgek) krátereszerű bemélyedéseket okoznak. A lombvők fogain élesen kiemelkedő, vágásra, aprításra alkalmas zománcdombok jelennek meg, míg a mindenevők kúpos fogai rendszerint egyenletesen lekopnak. A sokféle rafinált számítógepes képfalkodó és értékelési modellprogrammal kifejlesztett módszerek eredményeként a *Rudapithecus* alapvetően puha növényi részekkel táplálkozott. Ugyanakkor tény, hogy ősmajmunk fogain „kráterek” is vannak, és valószínűsíthető, hogy időnként vadászott és dögevő is lehetett.

A harmadik irányzat, a napjainkban közkedvelt stabilizotópos fogzománc-vizsgálatok alapján a miocén emberszabású ősmajmok evolúciójában és migrációjában új tényezőként jelent meg a „táplálkozási faktor”, ami az ökoszisztéma globális változásával a szárazföldi emlősfajna nagy részének kicserélődéséhez is hozzájárult. A *Rudapithecussal* együtt élő kőrözdők fogzománcjának C¹³ és O¹⁸ izotópos vizsgálata alapján ezek az állatok az erdőszültebb területeken a C₃ típusú növény-

zettel táplálkoztak. A C₃ asszimilációs ciklus azokban a növényekben jellemző, amelyek viszonylag kevés közvetlen napsugárzást kapnak, környezetük szén-dioxid-koncentrációja 200 ppm vagy annál magasabb, valamint biztosított a bőséges vízigényük.

Az újabban végzett 3D-vizsgálatok alapján a *Rudapithecus hungaricus* (RUD-200) állcsontjának morfológiája különbözik a többi ismert miocén főemlősétől, miután a puha gyümölcsévés mellett az elülső fogaik valószínűleg a növényi részek hántolására specializálódtak. Mindezekből a vizsgálatokból azonban még mindig nem derült ki, hogy valójában mit evett a *Rudapithecus*, és az egykori ökoszisztéma táplálék-hierarchiájában hol helyezkedett el. A valószínűsíthető legbiztosabb kiindulópont a fákra élő és esetenként a talajon is mozgó életmód, valamint a nem kifejezetten kemény növényi táplálék. Megtalálási helyük tavi-mocsári környezete nem élőhelyük, hanem az elpusztult állatok esetenként egybefüggő tetemeinek beesett-besodródott, olykor dőgezők által csonkított maradványainak dögtemetője volt. A 10 millió évvel ezelőtti összefüggő rudabányai völgyrendszer lignites és márgás üledékeiből viszonylag gazdag fajszerű, összességében egységes vegetáció kis távolságon és rövid időn belül nagy eltéréseket mutató paleoflorájában kell keresni a feltehetően egyik biotopról a másikra vándorló *Rudapithecus* táplálékát. A 40–50 évvel ezelőtt, több lelőhelyről *ad hoc* módon begyűjtött és együttesen értékelt-félreértékelt revideált rudabányai paleoflóra adatok még nem elégségesek a kérdés megválaszolására.

Környezetük

Már a *Rudapithecus*-leletek előkerülése előtt is tudták a geológusok, hogy a lignites-márgás, mocsári-tavi és folyóvízi üledékek az egykori

Pannon-tóba benyúló keskeny félsziget völgyeiben rakódtak le. A vasércbányászat mellett végzett lignitkutatás is kimutatta, hogy a völgyekben vízkedvelő fák erdei magasodtak, szegélyükön dús aljnövényzettel meleg és nedves erdők kúsztak fel a nyíltabb vegetációjú, magasabban fekvő sziklás hegytetőkre. Az 1970-es években végzett őslénytani ásatások során előkerült leletekből nyilvánvaló volt, hogy az emlősök között feltűnően gyakoriak a fiatalon elpusztult egyedek, a vízparti nedves környezetben élő kagylósrakok és a csigák maradványai is nagyrészt fiatal korukban elpusztulva halmozódtak fel a vízi üledékekben. Az elsődleges megfigyelések egyértelműen arra utaltak, hogy Rudabányán 10 millió évvel ezelőtt két évszak volt: egy hosszabb, viszonylag egyenletesen nedves és egy rövidebb, feltehetően tavaszi, igen heves, pusztító esőzésekkel jellemezhető váltotta egymást. Az évszakosság kimutatása, jellemzése, majd a 3–4 millió évvel később alapvetően bekövetkező globális változása a kutatókban valószínűsített „gumicica-effektusként” újabb és még újabb technikákat alkalmazó „spanyolviasz” eredményeket produkált.

Vannak hagyományosabb módszerű, számokban kifejezett környezeti adatokat tartalmazó értékelések is, amelyek a pontosabb környezetrekonstrukciókhoz jó kiindulási pontokat jelentenek. A nagyemlősök fogkorona magassága, a nagy- és kisemlős fajok ökológiai igénye alapján számított rudabányai átlagos évi csapadék 1235 mm-nek adódott, a legszárazabb hónap csapadéka 84 mm. Mindez azt is jelenti, hogy az erdei környezetben nem mutatható ki a valódi száraz évszak.

A növénymaradványokból az 1950-es években végzett első rudabányai klímarekonstrukció szerint az éghajlat a mai szubtrópusi és közepesen mérsékelt éghajlatú területek

határán uralkodónak feleltethet meg. A leghidegebb hónapban $-1-7^{\circ}\text{C}$, a legmelegebb $22-27^{\circ}\text{C}$, az évi átlag $11-17^{\circ}\text{C}$, az évi csapadék 1100–1200 mm körüli lehetett. A magyarországi késő miocén flóráját revideáló újabb vizsgálatok arra az eredményre jutottak, hogy a rudabányai környezetet is magába foglaló időszakban az évi átlaghőmérséklet $10-16^{\circ}\text{C}$ közöttire tehető, fagypon alatti évszak nem volt, az évi csapadékmennyiség pedig 700 és 1300 mm szélső értékeken belül becsülhető.

A rudabányai csonttemető

Az 1971-ben megkezdődött rendszeres ásatások sok ezer csontmaradványa között a nemzetközi szakértőkből álló kutatócsoportok az ősmajmok (*Rudapithecus* és *Anapithecus*) mellett eddig százötz gerinces fajt mutattak ki. Voltak közöttük nagytestű ormányosok és orrszarvúak, kisebb termetű háromujjú ősllovak, kérődzők és disznók, tapírok, *chalicotheriumok*. Rudabánya gazdag is meg nem is ragadozóiban. Eddig összesen nyolc család tizenhét fajt sikerült megtalálni, de ezek a többi emlősökhöz képest csak kis számban fordulnak elő. Közülük is leggyakoribbak a többé-kevésbé vízi életmódhoz alkalmazkodott vidrafélék, és élt itt két primitív, a korai medvéfélékhez tartozó *Ursavus* faj is. Rudabányán, annak ellenére, hogy bőségesen lett volna táplálékuk, alig fordultak elő a ragadozó-dőgező hiénák. A leghatalmasabb és legveszélyesebb rudabányai ragadozó azonban a mai barna medvénél legalább kétszer nagyobb testű „medvekutya”, az *Amphicyon* volt. A kistermetű emlősök magas faji diverzitása arra utal, hogy a táplálékforrások sokszínűsége tartósan biztosította a rovarevők és rágcsálók együttlétét. A rudabányai faunában kevés a madár és a denevér, mindössze tizenkét, ill. három faj alkotja a hagyományosan repülő

életmódot folytató gerinceseket. A szétterített bőrszárnyaikkal repülő-vitorlázó életmódot folytató ősi repülő mókások a rudabányai állatvilág közönséges képviselői voltak.

Az állatok hulláitól, a rothadó növényektől és a gázoktól bűzlő, esetleg hidrotermális kigőzölgésekkel is terhelt, magas ásványianyagtartalmú mocsárban alig élt hal, annál több volt a béka, amelyek mellett szalamandrák és más farkos kétélűek is éltek. Nem lehetett veszélytelen hely, miután az ártatlan vízisíklókon kívül kobra és vipera népesítették be a mocsárt és partszegélyét. A békacsontok és kígyócsigolyák mellett talán a teknősök páncéltöredékei a legközönségesebbek. Egyaránt megtalálhatók közöttük a gyakoribb szárazföldi (*Testudo*) és a Pannon-tó csökkent sós vízi körülményeihez alkalmazkodott, majd később a Kárpát-medencéből eltűnő bőrtékénősök (*Trionyx*) mintázott felszínű csontos páncéldarabjai. Rudabánya egyik leggyakoribb állata a már akkor is vízi környezetet igénylő kistermetű hód, a *Trogontherium minutum*.

A csonttemetőben az egykori szűk szurdokvölgyekben a különböző környezetben élt gerinces állatok csontjai halmozódtak fel. A tavi üledékekben gyakoriak a helyben elpusztult vagy tetemként elmerülő, egy állathoz tartozó, összefüggő és esetenként épségben megmaradt csontok. Legtöbbjük azonban az uszadékfákkal sodródva, vagy az iszapban elmerülve a lágy részek elbomlása után kisebb-nagyobb távolságra „elúszott” egymástól. A *Gabi* nevű *Rudapithecus* koponyája, állkapcsa, medence és combcsontja alig néhány méterre feküdt egymástól, s a közelében egy háromujjú ősló egybetartozó lába is előkerült. *Gabi* koponyája azonban összetört, és nagyon valószínű, hogy tetemét a mocsárban időnként dagonyázó masztó-

donok és orrszarvúk megtaposták. A csontjai sem nyugodhattak békében, mert rájuk jártak a kisoragadozók, a dögevők, megrágták őket a cickányok és a csigák. Gyakori, hogy az időszakosan kiszáradt mocsáron talaj képződött, és az ott megtelepedő növények gyökerei mély nyomokat hagytak a csontok felszínén. A tízmillió évvel ezelőtti dögtemetőben azonban később sem volt nyugalom. Az esetenként több tíz méter vastagságú tavi-mocsári-folyóvízi eredetű agyag-lignit és homokrég nyomására, és azok mozgása következtében a csontok megrepedtek, összepréselődtek, eltávolodtak egymástól, a lazább csontszöveteket feloldotta a mocsári környezetből származó savas víz.

Múlt és jövő

Bányászat nélkül nem ismernénk a *Rudapithecus*-t. A hosszú múltra visszatekintő ércbánya, különösen 1985. évi bezárása előtt a kutatók szeme láttára hordta meddőhányóra a majmot is tartalmazó sok ezer köbméternyi lignites agyagot. Az első *Rudapithecus* lelőhelye 1972-ben egy földcsuszamlással gyakorlatilag megsemmisült. A rudabányai fauna 90%-a a közeli II. sz. lelőhely alig 800 négyzetméternyi felületű és 2–3 m vastag üledékből került elő. Az 1977-ben természetvédelmi területté nyilvánított lelőhelyen a rendszerváltásig a kutatásokat az állami költségvetés finanszírozta. 1991-ben jelen sorok írója úgy látta, hogy egy ilyen nemzetközi csúcserdeklődést kiváló helyen csak a világ vezető kutatóinak bevonásával szabad és lehet kutatni. Kisebb kiadásokkal 1992 és 1996 között több kétoldalú és nemzeti-nemzetközi, valamint magánalapítvány támogatásával – azoktól függve – amerikai, majd azt követően 1997–1999 és 2006–2010 között kanadai szervezésben asszisztáltuk (vezettük) a rudabányai kutatá-

sokat. 2011-től a kanadai csoport önállósodva, hazai kontroll nélkül végez ásatásokat. Az elmúlt huszonöt évben a rudabányai II. sz. lelőhelyen dolgozó külföldi szakértő és diákcsoportok alapvető célja minél több majom megtalálása („*Apes now, please*”) volt. A *Rudapithecus* az 1980-as években bekerült (napjainkra kikerült) a hazai közoktatásba, és nincs olyan, az emberről válással foglalkozó nemzetközi kézikönyv, ahol *Rudapithecus* vagy *Dryopithecus* név alatt Rudabányával ne foglalkoznának. 2015 augusztusában az internetes kereső a *Dryopithecus* kulcsszóra 89 300, a *Rudapithecus*-ra pedig 8 920 találatot jelzett.

A rudabányai kutatások kezdetére a leletmentés, az alapvető földtani, szénközettani értékelés és a minél többirányú őslénytani feldolgozása (makroflóra, pollen, kagylósrákok, puhatestűek, őssgerincesek) volt jellemző. A kezdeti meghatározó évtized kutatásait Kretzoi Miklós, vezette és eredményeit 2002-ben monográfiában foglalta össze (Kretzoi, 2002). A természetvédelmi kiépítést követően, az 1980-as években a Magyar Állami Földtani Intézet tervkutatásai már a napjainkig használt négyzethálós dokumentációs rendszerben történtek, és az ásatásokat a bánya és környékének többi lelőhelyére is kiterjesztették. Az 1992–96 évek közötti magyar-amerikai kutatások célja a gazdag gerinces fauna rendszertani értékelése, a földtani kor pontosítása és a tafonómiai-szedimentációs folyamatok kiderítése volt. Az eredmények két monográfiában és több mint száz vezető szaklapban közzétett publikációban jelentek meg (Bernor et al., 2003, 2005). A kanadai *Rudabánya Field School* vezetője és képzetlen diákjai nem hoztak magukkal alapvetően új ásatási szemléletet és módszereket, azokat a hazai régészeti gyakorlatban már régóta alkalmazták. Csak a csontleletekre koncentráltak, s a lelőhely

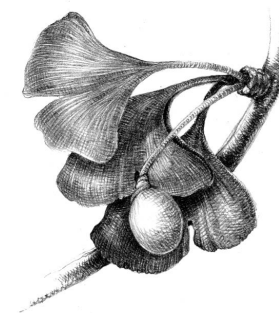
eredeti produktív rétegét „túlászva” azt minimális méretűre zsugorították. A kutatások ugyanakkor jelentős felfedezésekhez vezettek, *Gabi* koponya- és végtagcsont töredékei életben tartották a széles nemzetközi szakmai érdeklődést (Begun, 2007). Már az 1990-es évek végén egyértelművé vált, hogy Rudabányán klasszikus értelemben vett ásatást nem szabad végezni, mert az eredeti rétegek legkisebb megbontásával is az addig 10 millió éve földbe zárt információk 99%-át kidobjuk. További kutatás csak a megalapozott tudományos kérdések megválaszolásához szükséges mintavétellel és módszerekkel, szakterületüket nemzetközi szinten művelő, magyar irányítás alatt dolgozó kutatóknak lehetséges.

IRODALOM

- Az áttekintő kritikai tanulmány nem tartalmaz hivatkozásokat. További források az alábbiakban nagyrészt megtalálhatók.
- Begun, D. R. (2007): Fossil Record of Miocene Homioids. In: Henke, W. – Rothe, H. – Tattersall, I. (eds.): *Handbook of Palaeoanthropology* Vol. 2.: *Primate Evolution and Human Origins*. Springer, Berlin, 921–977.
- Bernor, Raymond L. – Kordos L. – Rook, L. (eds.) (2003): *Recent Advances on Multidisciplinary Research at Rudabánya, Late Miocene (MN9)*, Hungary: a Compendium. *Palaeontographia Italica* (Pisa), 89, 3–36.
- Bernor, Raymond L. – Kordos L. – Rook, L. (eds.) (2005): *Multidisciplinary Research at Rudabánya. Palaeontographia Italica* (Pisa), 90, 1–313.
- Kordos László (1997): *Environmental and Hominoid History in the Carpathian Basin During late Miocene. Climatic and Environmental Change in the Neogene of Europe*. ESF Workshop, Siena, 13–14.
- Kretzoi Miklós (2002): *The Fossil Hominoids of Rudabánya (Northeastern Hungary) and Early Hominization*. Hungarian National Museum, Budapest, pp. 287.

A jövő számára Rudabányán a II. sz. lelőhelyen kívül további potenciális kutatási területek ismertek. A közeli Alsótelekes egykori gipszbányájának fedőrétegében az 1993-ban megkezdett ásatásaink idején kiderült, hogy ott Rudabányával egykorú, azokkal összefüggő, ősmaradványokban gazdag mocsári-tavi-folyóvízi rétegek vannak, amelyekből, mint az ember származása kutatásának új távlatokat nyitó lelőhelyről már 1997-ben ki lehetett mutatni a Rudabányáról is ismert *Anapithecus* ősmajom fogát (Kordos, 1997).

Kulcsszavak: *Rudabánya, Alsótelekes, Rudapithecus, Dryopithecus, miocén, paleobiológia, human origin, miocene great apes*



SZÁZ ÉVVEL EZELEŐTT, 1915. AUGUSZTUS 16-ÁN HUNYT EL SZÉLL KÁLMÁN, A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA IGAZGATÓSÁGI TAGJA

Hamza Gábor

egyetemi tanár, ELTE Római Jogi Tanszék
az MTA rendes tagja
gabor.hamza@ajk.elte.hu

Dr. Széll Kálmán (Gasztony, 1843. június 8. – Rátót, 1915. augusztus 16.) a Magyar Tudományos Akadémia igazgatósági tagja, több mint négy éven át, 1899. február 26-tól 1903. június 27-ig a Magyar Királyság 12. miniszterelnöke volt. Miniszterelnökként a belügyminiszteri tárcát is megtartotta. Pénzügyminiszterként 1875. március 2. és 1878. október 11. között működött. Széll Kálmánt az MTA 1902. május 8-án tartott közgyűlésén választotta igazgatósági tagjává. I. Ferenc József 1883-ban a valóságos belső titkos tanácsosi címet adományozta neki, majd 1893-ban a Lipót-rend nagykeresztjét kapta meg a királytól. 1902-ben, még miniszterelnöki funkciója betöltésének idején, az uralkodó a Szent István-rend nagykeresztjével tüntette ki.

A Vas vármegyében birtokos dukai és szentgyörgyvölgyi Széll család III. Ferdinánd (1637–1657) magyar királytól nyert címeres levelet 1639-ben. Apja, József, alispán, országgyűlési képviselő, majd főispán, édesanyja pedig felsőőri Bertha Júlia (1817–1873) volt.

Középiskolai tanulmányait Sopronban, a bencés gimnáziumban és Szombathelyen, a premontrei gimnáziumban végezte. Jogi tanulmányait a pesti királyi tudományegyetemen, az Eötvös Loránd Tudományegyetem jogelődjének jog- és államtudományi karán folytatta. Jogi (jogtudományi) doktori oklevelet 1866-ban, két évvel egyetemi tanulmányai befejezését követően szerzett.

Hivatali pályafutását a Kiegyezés évében, 1867-ben kezdte meg szolgabíróként Vas vármegyében. A következő esztendőktől azonban már a szentgotthárdi, 1881-től pedig a pozsonyi 2. számú választókerületet képviselte a Képviselőházban kormánypárti programmal. Hét éven át jegyzője volt a Képviselőháznak és állandó előadója a pénzügyi bizottságnak, a központi bizottságnak, a horvát ügyekben kiküldött országos bizottságoknak és a delegáció hadügyi bizottságának.

Széll Kálmán sok időt töltött Deák Ferenc körében. Deák Ferenc 1868-tól egészen 1875-ig, halálát megelőző évig, a nyarat min-

dig Széll Kálmánnal töltötte Rátóton. Deák Ferenc gyámleányát, Vörösmarty Mihály egyik leányát, Vörösmarty Ilonát 1867-ben vette feleségül. Van olyan nézet is, mely szerint Széll Kálmánt – tehetségén kívül – Deákkal való személyes kapcsolata is segítette gyors közéleti előrehaladásában.

Széll Kálmánnak több ízben ajánlottak fel miniszteri tárcát, míg 1875 márciusában, a Deák-párt és a Tisza Kálmán vezette Balközép Párt fúziójából létrejött Szabadelvű Párt képviselőjeként 1875 márciusában pénzügyminiszter lett báró Wenckheim Béla kormányában. 1878 októberében, Bosznia-Hercegovina (és a szandzsák) okkupációját követően, tiltakozásképpen megvált a pénzügyminiszteri posztól. Határozott és takarékos miniszter volt, aki megszervezte az adófelügyelői intézményt. Legnagyobb sikere kétségtelenül az Osztrák-Magyar Bank létrehozása volt, megoldva ezzel a bankkérdést az egységes osztrák banknak közös Osztrák-Magyar Bankká történő alakításával.

Pénzügyminiszterként rendet teremtett az államháztartásban, jelentős mértékben növelte az állami bevételeket, átszervezte a pénzügyi igazgatást, megszerezte a keleti és a tiszai vasutat az államnak és ezzel megteremtette a később bekövetkezett vasút-államosítás első, igen lényeges feltételét. Nevéhez fűződik az 1878-ban létrejött pénzügyi és gazdasági kiegyezés Ausztriával. Széll Kálmán minisztersége idején az átvett deficit felénél kisebb összegre csökkent és az államháztartás az egyensúlyhoz közel került.

Adóemelései, melyeket politikailag elődje, Ghyczy Kálmán pénzügyminiszter készített elő, megoldották a magyar költségvetésnek az 1870-es évek közepén mutatkozó súlyos válságát, amelyet súlyosbított az is, hogy az 1867-es Kiegyezést követő esztendőben

túlzott, megalapozatlan, ábrándokra épülő gazdasági optimizmus jellemezte a közvéleményt. Széll Kálmán pénzügyminiszterként 63 millió forintos éves deficitet vette át a költségvetést és 23 millió forintos deficitet adta át. A költségvetést stabilizáló jövedelemadó-emeléseiről mint Deák-párti politikusnak keményen meg kellett küzdenie saját miniszterelnökével, a Balközép vezérével, Tisza Kálmánnal. Tisza Kálmán ugyanis, többek között, olyan látszatintézkedéseket támogatott, mint a fegyveradó, fényűzési adó, biliárdadó és a vadászati adó.

Az Osztrák-Magyar Bank ügyében Széll szintén konfliktusba került Tisza Kálmánnal, aki eredetileg önálló magyar jegybank (Notenbank) létrehozását kívánta. A magyar jegybank létesítésétől Tisza jelentős kamatmentes kölcsönök folyósítását remélte, azonban az ehhez szükséges gazdasági-pénzügyi átalakításokat, reformokat politikai megfontolásból nem vállalta.

Széll Kálmán kiemelkedő érdeme volt a magyar költségvetés nemzetközi hitelfelvétel pozíciójának megteremtése az úgynevezett 6%-os *ananyjándék* formájában. Ez egy két részletben történt 80 millió forintos kibocsátás volt 6%-os kamattal.

Nemzeti kulturális célok előmozdítására, megvalósítására is tudott időt szakítani Széll Kálmán. Többek között nagy gonddal és hozzáértéssel irányította a fontos kulturális missziót betöltő Dunántúli Közművelődési Egyesület ügyeit és felügyelte működését.

Széll Kálmán 1878-tól országos hírű minitagazdasággá fejlesztette rátóti birtokát, ahol szarvasmarha-tenyészetével szerzett maradandó hírnevet. A mezőgazdaság, kiváltképpen az állattenyésztés területén úttörőnek tekinthető munkássága, amelynek eredménye a világhírű rátót-héraházi siementali törzste-

nyészet volt, mely komoly, kivételesnek tekinthető nemzetközi elismerésben is részesült.

1880. február 24-én nagyszabású költségvetési beszédet mondott Széll Kálmán, melyben rámutatott a kormány abban az időben folytatott pénzügyi politikájának később valóban bekövetkezett igen súlyos következményeire. 1881-ben régi kerületében a függetlenségi párt ellenében kisebbségben maradván, Pozsony város 2. számú kerülete harmadnapra mandátummal tisztelte meg. Megalkotta a Magyar Jelzáloghitelbankot. Ennek a banknak és a Leszámlító Banknak igazgatósági elnöke lett. 1881-től 1899-ig a Leszámlító Bank igazgatója, 1886 és 1899 között, majd 1907-től haláláig az általa alapított Magyar Jelzálog Hitelbank igazgatóságának elnöke volt.

Széll Kálmán elnöke volt az 1892:XXI. tc. értelmében kiküldött országos ellenőrző bizottságnak, továbbá a millenniumi országos bizottságnak és 1896 óta több ízben a delegációnak, a pénzügyi, továbbá a közigazgatási bizottságnak. Részt vett a valuta-szabályozás tárgyában egybehívott országos ankéten. 1891 és 1898 között a Millenniumi Országos Bizottságnak, 1892-től a Képviselőház pénzügyi bizottságának, 1896-tól az interparlamentáris konferencia elnöki tisztét is betöltötte.

A közművelődési egyesületek 1896-i kongresszusán az egyik társelnök volt. Az 1896-ban Budapesten tartott interparlamentáris konferencián a magyar csoport elnöki tisztét töltötte be. Az 1910. június 26-án alakult országos pártfogó egyesület Széll Kálmánt elnökévé választotta. Elnöke volt 1896-tól 1898-ig az országos kvótabizottságnak, amelynek munkálataira irányadó befolyást gyakorolt. Az 1880-ban tartott beszéden kívül első minisztersége után a Házban azonban csak ritkán hallatta szavát. 1897 végétől a súlyos

válsággal fenyegető belpolitikai események ismét politikai szerep vállalására kényszerítették. Az egyre jobban elmélyülő gazdasági válság idején, 1897 végén, Széll Kálmán ismét aktívan vett részt a magyar politikai életben. Az ellenzék obstrukciójának erőszakos megrendszabályozása ellen komoly formában latba vetette befolyását. Az ún. *lex Tiszát* aláírta ugyan, de csak azért, hogy megakadályozza a Szabadelvű Párt várható bomlását.

Az 1898-ban bekövetkezett igen komoly politikai válság próbára tette a magyar politikai elit kompromisszumkészégét és képességét. A képviselőházi ellenzék, az 1884-ben Függetlenségi és Negyvennyolcas Párt néven megalakult közjogi ellenzék a Kiegyezést kívánta megváltoztatni. Erre jó alkalom volt az, hogy az osztrák és a magyar kormány által már korábban elfogadott gazdasági kiegyezés nem került jóváhagyásra az osztrák parlamentben. A magyar közjogi ellenzék felfogása szerint ez azt jelentette, hogy mintegy „önmagától” létrejött az önálló magyar vámterület. Bánffy Dezső azonban, a bécsi kormánnyal egyetértésben törvényjavaslatot terjesztett elő a Képviselőházban, amely egyoldalúan hatályában fenntartotta volna, azaz meghosszabbította volna az Ausztria és Magyarország között korábban létrejött gazdasági megegyezést. Ez a törvényjavaslat, pontosabban annak elfogadása az ellenzék felfogása szerint a magyar nemzeti függetlenség felszámolását jelentette volna. Az ellenzék obstrukciója miatt lehetetlenné vált a Képviselőházban a költségvetés elfogadása. Magyarországnak 1867 óta először nem volt elfogadott költségvetése.

Széll Kálmán igen határozottan a békés kibontakozás mellett foglalt állást és nyíltan tiltakozott a Bánffy-kormány által tervezett házfelosztás ellen, amelyet költségvetési pro-

vizórium híján alkotmányellenesnek tekintett. Ilyen értelemben tájékoztatta az uralkodót is, aki 1899. január 26-án megbízta, hogy báró Bánffy Dezső (1845-1911) miniszterelnökkel együtt a „békétárgyalásokat” vezesse, melyek azonban az ellenzék folytonos obstrukciója miatt eredménytelenek maradtak.

A Bánffy Dezső vezette kormány bukása után, 1899. február 26-án a király Széll Kálmánt a kabinet megalakításával bízta meg, melyet követően az ellenzék, az obstrukciót leszerelve, aláírta az ún. *paktumot*. Széll Kálmán miniszterelnökként, hasonlóan a dualizmus korának több kormányfőjéhez, egyidejűleg a belügyminiszeri tárcát is megtartotta.

A Képviselőházban kifejtett kormányprogramja alapján, melynek a „törvény, jog és igazság”-ra való hivatkozása politikai szállóigévé vált, a Nemzeti párt belépett a Szabadelvű Pártba. Néhány hét alatt a Képviselőház valamennyi megakasztott törvényjavaslatot megszavazta, mégpedig a gazdasági kiegyezés ideiglenes rendezését az általa koncipiált úgynevezett Széll-formula alapján a korábbiaktól különböző, biztosabb alapokra fektetve.

Kiemelendő, hogy a Képviselőház elfogadta a kúriai bíráskodásról szóló törvényt és az új házszabályokat is megalkotta.

Széll Kálmán bel- és külpolitikai helyzetét egyaránt megszilárdította a Szabadelvű Párt győzelme az 1901-ben tartott országgyűlési választásokon. A Szabadelvű Párt megszerezte a képviselőházi mandátumok kétharmadát, biztosítva ezzel a kormánynak a stabil kormányzás és törvényhozás lehetőségét.

Az ausztriai Ernst von Körber (1850-1919) vezette kabinettel (1900-1904) folytatott gazdasági kiegyezési tárgyalások során újabb garanciákkal bástyázta körül az Ausztriával fennálló kereskedelmi viszonyt és az egyes államokkal szemben fennálló kereskedelmi

szerveződések lejáratának egyidejűségét. 1902. december 31-én, csaknem egy éven át tartó tárgyalások után, sikerült megkötnie a Magyarország számára előnyös új gazdasági kiegyezést a fentebb már említett úgynevezett Széll-formula alapján.

Széll Kálmán kormányában kereskedelemügyi miniszter volt Láng Lajos (1849-1918), a Magyar Tudományos Akadémia levelező (1883) majd rendes tagja (1892) 1902 májusa és 1903 novembere között. A Párizsban és Olaszországban is tanulmányokat folytató jogász (jogtudós), nemzetgazdász és statisztikus, a királytól 1911-ben bárói rangot kapott Láng Lajos, aki a Közgazdasági Társaság elnöki tisztjét is betöltötte, nagy segítségére volt Széll Kálmánnak a quótát illető tárgyalásokban. A quota megállapítása elméleti alapjának kidolgozásában komoly szerepet vállalt.

Széll Kálmán belügyminiszterként is fontos reformokat váltott valóra. Rendezte a lelc-ügyet, rendszeresen gondoskodott törvény útján a hét éven felüli zuhlott gyermekekről; a közigazgatást egyszerűsítette és gondoskodott a községi közegek kiképzéséről. Fiumében helyreállította a törvényes rendet, azt állandó, tartós alapokra helyezve. Az általa vallott elvek alapján került elfogadásra 1901-ben az új összeférhetlenségi (inkompatibilitási) törvény, mely az 1875-ben elfogadott, túlhaladott összeférhetlenségi törvényt hatályon kívül helyezte. Az 1901-i általános választásokon a Széll Kálmán programja alapján álló Szabadelvű Párt nagy győzelmet aratott. Említést érdemel, hogy nem egészen négy és fél éven át tartó miniszterelnöksége alatt a Képviselőház 120 törvényt (törvény-cikket) fogadott el.

Kormánya széles körű támogatást élvezett, majd a véderőfejlesztés miatt ismét kiűjultak az ellentétek. 1903-ban az általa benyújtott

főlemelt létszámú újoncjavaslat ellen, melyben rendezni kívánta az újonclétszám megajánlását és az újoncjutalékot, a szélsőbaloldal obstrukciót kezdeményezett, amellyel szemben Széll Kálmán a passzív rezisztencia, ellenállás álláspontjára helyezkedett. Mivel az obstrukciót az indemnítási javaslatra is kiterjesztették, az ellenzék „sikeresen” megakadályozta a költségvetés elfogadását a törvény szabta határidőn belül, így május 1-jén beállott a költségvetésen kívüli állapot.

A Szabadelvű Párt egy része gróf Apponyi Albert vezetése alatt nemzeti vívmányokat, a másik része pedig, Tiszával az élén, érélyes rendszabályokat követelt. Ezek miatt beadta lemondását (kísérve valamennyi párt elismerésétől), 1903. június 27-én lemondott tisztségéről. Ezt követően rátóti birtokára vonult vissza, és a Képviselőházban sokáig nem is jelent meg.

Széll Kálmán kormányzása viszonylagos nyugalmat hozott az amúgy zaklatott közéletbe, amit leginkább Tisza István és köre (például Perczel Dezső házelnök) szított a kormányoldáról, az ellenzék részéről pedig szinte mindenki. Az 1904. november 18-i események, az ún. „zsebkendőszavazás” miatt mandátumáról lemondott és a pártból is kilépett. Választókerülete azonban újra felkérte a jelöltségre és időközben, a Képviselőház feloszlását követően, az általános választások során újra megválasztotta.

Az 1905-1906-os magyarországi súlyos belpolitikai válság során többször kérte véleményét I. Ferenc József a kialakult helyzettel kapcsolatban. 1906. március 24-én szentgotthárdi választói előtt tartott beszédében pálcát tört báró Fejérváry Géza kormánya felett, kemény és jogos kritikával illetve különösen

a vezérő-bizottság abban az időben történt feloszlását. Két héttel a beszédet követően bekövetkezett a békés kibontakozás és Széll Kálmánt kerülete újra megválasztotta képviselőnek. 1906 májusában belépett az Alkotmánypártba, amelynek 1910-ben történt feloszlásáig elnöke is volt. Ugyanattól az évtől számítva alkotmánypárti, 1910–1911-ben pedig párton kívüli programmal képviselte a szentgotthárdi választókerületet. Széll Kálmán 1911 után már csak a gazdasági életben vállalt szerepet.

Kevésé ismert, hogy Széll Kálmán azon kevés magyar politikus, államférfi közé tartozott, akik nem elleneztek Ferenc Ferdinánd (1863-1914) trónörökös 1900. július 1-én kötött morganatikus házasságát Chotek Zsófia (Sophie Chotek) grófnővel. Ez is hozzájárulhatott ahhoz, hogy Széll Kálmán kapcsolatban állt az ún. Belvedere-Kreis-zal (a Belvedere palota volt Ferenc Ferdinánd „árnyékkabinettjének” (*Schattenkabinett im Belvedere*) székhelye, bár formailag nem tartozott ahhoz. Források hiányában azonban pontos ismeretekkel nem rendelkezünk a volt miniszterelnök és Ferenc Ferdinánd, illetve a Belvedere-Kreis kapcsolatáról. Nem ismeretes ilyen módon az, hogy a soknemzetiségű (*Vielvölkerstaat*) Osztrák-Magyar Monarchia átfogó reformját, átalakítását tervező és előkészítő árnyékkabinet munkájában milyen mértékben és súllyal vett részt Széll Kálmán. Feltételezésünk szerint a kiemelkedő magyar politikus és gazdasági, elsősorban pénzügyi szakember a „Kettős Monarchia” (*Doppelmonarchie*) gazdasági vonatkozású reformja kérdésében tanácsadóként, ma használatos kifejezéssel élve „szakértőként” hallatta szavát, illetve nyert meghallgatást.

IRODALOM

- Apponyi A.: Emlékirataim. Ötven év. I. kötet – Ifjúkorom – Huszonöt éven át ellenzékben. 3. kiad. Budapest, 1926.
- Balanyi Gy.: A Balkán-probléma fejlődése a parisi kongresszustól a világháború kitöréséig, 1856–1914. Budapest, 1920.
- Béranger J. – Kecskeméti K.: Országgyűlés és parlamenti élet Magyarországon 1608–1914. Budapest, 2008. 343–424. o.
- Dolmányos I.: A magyar parlamenti ellenzék történetéből. 1901–1904. Budapest, 1963.
- Ferdinandy M. – Gogolák L.: Magyarok és délszlávok. Budapest,
- Gratz G.: A dualizmus kora. Magyarország története, 1867–1918. I-II. Budapest, 1935.
- Hamza G.: Entstehung und Entwicklung der modernen Privatrechtsordnungen und die römischrechtliche Tradition. Budapest, 2009. 493–495. o.
- Hamza G.: A modern magánjogi rendszerek kialakulása a római jogi hagyományok alapján. Budapest, 2002. 221–222. o.
- Havass R.: Magyarország és a Balkán (Szerbia, Bulgária, Románia). Gazdaságpolitikai tanulmány. Földrajzi Közlemények 1913. 153–216. o.
- Kozári M.: A dualizmus kora 1867–1914. Budapest, 2009.
- Kristóffy J.: Magyarország kálváriája. Az összeomlás útja. Politikai emlékek 1890–1926. Budapest, 1928.

- Láng L.: A magyar és osztrák államháztartás. Budapest, 1881.
- Láng L.: Javaslat a quota megállapítására. Budapest, 1897.
- Markó L.: A magyar állam fömlétségei Szent Istvántól napjainkig. Budapest, 2000.
- Niederhauser E.: Forrongó félsziget: a Balkán a XIX–XX. században. Budapest, 1972.
- Pál A.: Bosznia-Hercegovina politikai szervezete. Budapest, 1913.
- Pölöskei F.: A magyar parlamentarizmus a századfordulón. Politikások és intézmények. Budapest, 2001.
- Ress I.: Kapcsolatok és keresztutak. Horvátok, szerbek, bosnyákok a nemzetállam vonzásában. Budapest, 2004.
- Schwarzwölfer Á.: Az 1901-es összeférhetlenségi törvény megszületésének körülményei. In: Kutatási Füzetek 20. Pécs, 2013. 177–197. o.
- Schwarzwölfer Á.: Die Umstände der Entstehung des Inkompatibilitätsgesetzes im Jahre 1901 in Ungarn. In: Szamonek Vera (szerk.): A II. Országos Interdiszciplináris Grastyán Konferencia előadásai. PTE Grastyán Endre Szakkollégium, Pécs, 2013. 332–341. o.
- S. Halász Terézia: Széll Kálmán életrajza. Budapest, 1943.
- Vikár B.: A szabadelvűpárt története. In: Politikai Magyarország. IV. kötet. Budapest, 1914. 1–107. o.
- Wikipédia: Széll Kálmán • https://hu.wikipedia.org/wiki/Sz%C3%A9ll_K%C3%A1lm%C3%A1n



A HAZAI VERSENYKÉPESSÉG FOKOZÁSÁNAK EGYIK LEHETŐSÉGE – EGYÜTT KÖNNYEBB

Kovács Nikoletta

PhD-hallgató, oktató,
Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar Gazdálkodástani Doktori Iskola
kovacsnikoletta@ktk.pte.hu

A tanulmány célja a hazai ipar – elsősorban járműipar – regionális berendezkedésének és a versenyképesség irányába történő kitörési pontjainak feltérképezése. A kutatás elején kitérünk a kiszervezések okaira, illetve hazánk mint potenciális erőforrásbázis helyzetére. Majd a hazai járműipar példáján keresztül bemutatásra kerül a beszállítói hálózat erőssége és gyengesége, illetve területi eloszlása. A regionális eloszlás általánosságban is arra enged következtetni, hogy erősen függünk a betelepülő külföldi vállalkozásoktól. A tanulmány legfőbb következtetése, hogy a legfőbb hátrányunk és a kialakult „függés” leküzdése érdekében klaszterekbe szerveződve, a regionális sajátosságokat kihasználva, versenyképesebbé tehetők a hazai KKV-k.

A versenyképesség definiálásáról több munkát is találhatunk, azonban egy általános fogalomban nem lehet definiálni. Jelen tanulmányban Török Ádám megfogalmazásából indulunk ki, mint versenyképesség-fogalom, mivel azt is ő fogalmazta meg, hogy a versenyképesség mint fogalom nem vezethető le egyértelműen a közgazdaságtan egyik alapvető paradigmájából sem (Török, 1999). Török megfogalmazásában „a versenyképesség

fogalma mikroszinten a piaci versenyben való pozíciószerezés, illetve helytállás képességét jelenti az egyes vállalatok, egymás versenytársai között, valamint makrogazdasági szempontból az egyes nemzetgazdaságok között.” (Török, 1999, 74.)

*A verseny ösztönzésére szolgáló
telephelyválasztás és kiszervezés jelentősége*

A kínálati árat, ami a fogyasztót érinti, az ellátási lánc legfontosabb költség tényezői – létesítmények létrehozásának és üzemeltetésének költségei, készletezési, szállítási és információs költségek – befolyásolják, melyek a termelőnél jelentkeznek. Ezért szoros a kölcsönhatás a kínálati árak és a létesítmények helye között, és ezért jelent problémát a nem megfelelő választás (Vörös, 2010). A stratégiai tervezésnél fontos szempont a telephelyek helye mellett a száma is, mivel a telephelyek számának növelése fokozhatja a rugalmasságot, és csökkentheti a logisztikai költségeket, de egyben növelheti is a költségeket, ha a készlet szint nem optimális.

A globalizáció segítségével bárhova telepíthető termelési vagy szolgáltatási egység, és az adott ország lehetőségeit kihasználva épít-

hető a vállalati stratégia (Slack et al., 2001). Az utóbbi évek trendjei közé tartozik, hogy különböző iparágak a világ egyazon részére koncentrálnak, mint például az információ-technológiai ipar az USA-ban a Szilícium-völgybe, az európai gépipar Németországba, a bankok Zürichbe, Londonba vagy New Yorkba tömörülnek, a pamut pedig többnyire Ázsiából származik (Krajewsky – Ritzman, 2005). Az előrejelzések szerint a XXI. század második évtizedében a fejlődő országok, a BRIC (Brazília, Oroszország, India és Kína) az alacsony munkabérekkel nagyon sok termék piacán piac- és költségvetetők lesznek, és így az árpolitika meghatározó tényezőivé válnak világszerte (Reketye, 2011).

A költségek optimalizálása és a versenyképesség miatt továbbá gyakran előfordul, hogy a vállalatok bizonyos feladatokat egy távoli ország szakembereire bíznak, ez az *offshoring* (*offshore outsourcing*). Az offshoringgal a költségek alacsony szinten tarthatók, azonban rizikófaktorokkal is számolni kell, mivel eltérő időzónák miatti projektmenedzselési és kommunikációs problémák jelentkezhetnek, továbbá kulturális különbségekkel is számolni kell, illetve a képzettségbeli eltérések és a nyelvi nehézségek is gyakoriak. Az említett tényezők a minőségi munkavégzés rovására mehetnek, illetve kezelésük hosszú távon további költségeket jelenthet. A *nearshoring* (*nearshore outsourcing*) segíthet megtalálni az egyensúlyt a költséghatékonyság és a minőség között. Ebben az esetben a tevékenységét kiszervezni kívánó vállalat olyan partnert keres, amely mind fizikai, mind kulturális értelemben „közel” van hozzá, és kiválasztásban a költség szempontok mellett hangsúlyos szerepet kap a szakmai tapasztalat és a megbízhatóság, így végső soron a minőség.

Magyarország mint potenciális tudás- és erőforrásbázis az ezredforduló környékén

Az 1988–1990-es éveket a magyar gazdaság tőkehiánya és ennek következtében a működőtőke-befektetések kockázata jellemezte. A befektetés-ösztönzési rendszer keretében a kormány a támogatási versenyben jó nevű, multinacionális nagybefektetők megnyerésére törekedett. Ezeknek a nagybefektetőknek – részben egyedi alkukkal – jelentős kedvezményeket kínált. Ilyen módon jött Magyarországra a General Motors, a General Electric, a Suzuki és a Ford. Valamennyien adómentességet kaptak tíz évre, s a három zöldmezős beruházó az általa kiválasztott helyen vámszabad területet létesíthetett, így mentesülve az import utáni vám- és áfázis kötelezettség alól (Antalóczy – Sass, 2003).

A magyarországi működőtőke-beruházás indítékait vizsgálva a legfontosabb beruházást motiváló tényező a magyar piacra való bejutás. A második legfontosabb tényező, a környező kelet-európai piacokra való bejutás, azaz az exportorientációt támasztja alá (Árva, 1997). A magyarhoz hasonló átalakuló gazdaságok modernizációja továbbá erősen függött attól, hogy milyen mértékben tudják felhalmozni azt a folyamatosan változó és megújuló tudást, amelynek elsődleges forrása a kutatás-fejlesztés, megjelenési formája pedig lehet a tudás, technika, technológia, innováció (Kocsis – Szabó, 2000).

Gyakran felmerül azonban a vád, hogy a külföldi leányvállalatok csak az importált tudás alkalmazásában, adaptációjában, a költséghatékonyság növelésében érdekeltek. További kedvezőtlen hatás lehet, hogy amennyiben a leányvállalatot csak alkalmazott kutatásra alkalmazzák, a helyi K+F-központok „termékei” iránti kereslet megszűnik. Ebben

az esetben az ágazati kutatóintézetek, amelyek az alap kutatások fő bázisai, nem rendelkeznek elegendő fizetőképes kereslettel, igen érzékeny tovagyűrűző hatástól zárva el a gazdaságot.

A német feldolgozóipari cégek példája is azt mutatja, hogy a külföldi cégek magyarországi leányvállalatai inkább vertikális, semmint horizontális kapcsolatokat alakítanak ki, azaz elsősorban a szállítókkal és a vevőkkel működnek együtt (Szalavetz, 1999). A külföldi tőke és a hazai vállalatok közti technológiai horizontális együttműködések hiányának oka, hogy egy-egy ágazat főbb hazai vállalatai más-más multinacionális vállalat hálózatába kapcsolódtak be. Ezáltal ugyan a vállalati gyakorlat szerves részévé válik a külső szervezetekkel való együttműködés, de mindez nem stratégiai jelentőségű, csupán alárendelt viszonyra utal, nem valódi kutatási együttműködésre és közös projektre.

Hazai járműipari beszállítói példa

A hazai beszállítói hálózat erősségei és gyengeségei • A Wirschaft in Ungarn 2009/4. számában interjú készült Dr. Palkovics Lászlóval, a Knorr Bremse budapesti kutatási és fejlesztési központ akkori vezetőjével, mely szerint az innovációs képesség erősítését és a beszállítók versenyképességét tartja a legfontosabb követelményeknek, melyek célja, hogy a magyar autóipar lépést tartson a jövő kihívásaival. Palkovics szerint három tényezőnek van jelentősége a járműiparba való befektetés során: a költségeknek, a munkaerő elérhetőségének és a biztonság; utóbbi alatt azt érti, hogy mennyire van biztonságban az a technológia, amelyet a befektető rendelkezésre bocsát. A közép- és kelet-európai országokban, ideértve Oroszországot is, nem kell félni tőle, hogy a know-how-t ellopják – Kínával vagy Indiával azonban más a helyzet.

Egy 2011 júniusában, Magyarországon végzett kérdőíves felmérésben, melyet a Széchenyi István Egyetem Járműipari és Tervezési Kutatócsoportjának megbízásából az Adatgyűjtő Intézet végzett, beazonosították a versenyképesség szempontjából fontos tényezőket a járműipari beszállítói aktivitással kapcsolatban. Ezek a kedvező ár, partneri kapcsolatrendszer, minőség, termelékenység, összetett termékpaletta és a jó alkalmazkodóképesség (Páthy – Róbert, 2012). A szakirodalom szerint az autóipar az egyik leginnovatívabb iparág, de a létező innovációs tevékenységek ellenére a kutatásban vizsgált beszállítóknak csak harmada tekinti az innovációt a versenyképesség döntő elemének. Ennél fontosabbnak látják a kedvező árak kialakítását, a vevőkkel való jó kapcsolat fenntartását, az olcsó, de képzett munkaerő biztosítását, illetve a több lábon állást, tehát a költségek és megbízhatóság, valamint a minőség a legmeghatározóbb döntési paraméter.

A külföldi tulajdonú vállalatok gyakran már kialakult és jól működő partnereket választanak beszállítóiknak, akik nem feltétlenül a hazai vállalatok közül kerülnek ki, de mindenképp fontos szempont, hogy legyen a közelben megfelelő beszállító. Egy, a fent említett kutatás keretein belüli interjúk kutatás eredménye szerint a főbb hazai gyengeségek között szerepelnek a mérethatékonyság vagy a bürokrácia problémái.

Az Audi AG telephelyválasztási motivációja • A betelepülő vállalatok motivációja sokrétű. Tágabb keretből indulva, a rendszer-váltás időszakában a helyi gazdaság működését befolyásoló külső szereplőket kétféle oszthatjuk. Az egyik szereplő a magyar állam, mely a gazdasági átalakulást, a piacgazdasági átmenet megvalósítását a szükséges szabályozási környezet megalkotásával segítette. A

másik meghatározó külső szereplő ebben az időszakban a fejlett gazdasággal rendelkező európai uniós és OECD-tagállamok, amelyek nemzeti gazdaságpolitikájuk részeként ösztönözték a felbomló keleti blokk országaiban a működő tőkebefektetéseket. Ebben az időszakban Győr a külföldi működő tőke kedvelt célpontjává vált, sőt Béccsel és Pozsonnyal együtt Közép-Európa befektetési aranyháromszögének részeként emlegették. A külföldi tőke nemcsak zöld- és barnamezős fejlesztésekből vette ki a részét, hanem ipari parkok kialakításából is (Lados – Kollár, 2011). Ebben az ipari parkban foglal helyet az Audi Hungária Motor Kft. és több feldolgozóipari vállalat, mint például gépgyártó, autóipari beszállító, elektronikai ipari, műanyagipari és szállítmányozási vállalat. Győr tekintetében a tudásképződés sem volt elhanyagolható szempont, melyben közrejátszanak a felsőfokú intézmények, kutatóhelyek és kutatóintézetek. Ahol megfelelő a felsőoktatás színvonala, oda beáramlanak a K+F-tevékenységeket is igénylő iparágak (Lados – Kollár, 2011).

Győr előnye közé sorolható még a kedvező földrajzi fekvése. Kelet–nyugati irányú vasúti, közúti és vízi szállításra is alkalmas útvonalakkal is rendelkezik, míg észak–déli irányban a kapcsolatrendszere fejlesztésre szorul. A vállalatok telephelyválasztását befolyásolhatja a helyi iparüzési adó nagysága is. Az önkormányzat a vállalatok városba vonzása érdekében nyújt különböző formában kedvezményeket a helyi adóval kapcsolatban, azonban a vállalkozásoknak adott helyi adómentességet az Európai Unió versenytörvényével összhangban a városnak 2008. január 1-től meg kellett szüntetnie.

Összefoglalva tehát: a járműipari vállalatok hazai telephelyválasztási döntéseik mögött elsősorban az alacsony beszállítói árak,

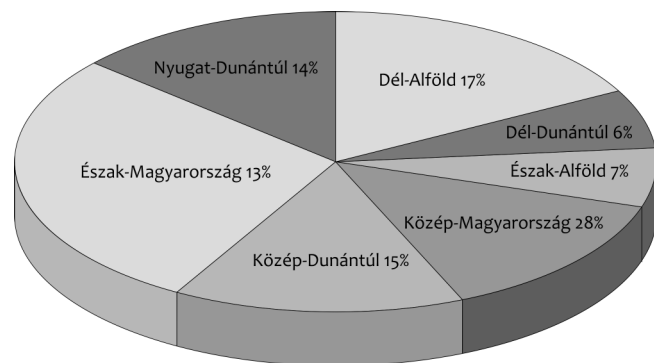
fenntartási költségek és adók állnak, továbbá a minőségi munkavégzésre képes jól képzett munkaerő. Kiderült, hogy nem hátrány, ha a közelben van innovációs bázisként működő felsőoktatási intézmény, továbbá potenciális helyként szolgáló ipari park. A jó alkalmazkodóképesség és a „közele” kultúra tovább fokozza a rugalmas együttműködés lehetőségét. A főbb hazai gyengeségek között a mérethatékonyság és a bürokrácia problémái szerepelnek. A mérethatékonyságot kihasználva talán nagyobb lehetőség adódna a vertikális kapcsolatok horizontálissá válására, és a betelepülő vállalatokkal hosszú távú közös kutatási és fejlesztési projektek kialakítására.

A hazai beszállítói hálózat területi eloszlása • A magyarországi gépjárműipari beszállítók körében végzett kutatás eredményeként létrejött egy adatbázis, melybe 118 vállalkozás tartozik. Területi megoszlásuk az 1. ábrán látható.

Ezek alapján a járműipari beszállítók többsége Közép-Magyarországon (a Suzuki Esztergomi vonzáskörzete) és a Dél-Alföldön (a Mercedes Kecskeméti körzete – bár a kutatás évében még nem nyílt meg a gyár), valamint Közép-Dunántúlon található, ami meglepő, hisz a győri Audi és a szentgotthárdi Opel a Nyugat-Magyarországi régióban helyezkedik el, ami csak a negyedik helyet foglalja el. Ez arra enged következtetni, hogy a beszállítóknak nem szükséges az autóipari nagyvállalatokkal megegyező régióba belül elhelyezkedniük, hogy az üzleti kapcsolatok hosszú távon is fenntarthatók legyenek.

Arra a kérdésre, hogy a cég zöldmezős beruházás¹ eredményeként jött-e létre, a

¹ A zöldmezős beruházás olyan új ipari vállalkozást jelöl, amely korábban mezőgazdasági művelés alatt álló területen jön létre, és a telephely teljes egészében újonnan létesül üzemi előzmények nélkül.



1. ábra • A gépjárműipari beszállítók területi eloszlása Magyarországon (2011)

kutatásban szereplő válaszadók 30,1 százaléka felelt azzal, hogy teljes egészében és 3,5 százaléka csak részben. A maradék 66,4 százalék barnamezős² beruházásként létesített új telephelyet, azaz egy, már korábban használatba vett területet választott magának (Páthy – Róbert, 2012). A beruházások többsége tehát nem zöldmezős beruházásként jött létre, ami arra enged következtetni, hogy előnyben részesülnek azok a területek, ahol adottak az infrastrukturális lehetőségek.

A hazai működő vállalkozások és a külföldi érdekeltségű vállalkozások száma közötti korreláció vizsgálata • Egy, a Központi Statisztikai Hivatal honlapján található adatbázis szerint a hazai működő és a külföldi érdekeltségű vállalkozások számát tekintve 2008-tól 2012-ig csökkenést vehetünk észre. A hazai vállalatok száma 513 773-ról 466 611-ra csökkent – ez nagyjából tíz százalékos csökkenés –, míg a külföldi érdekeltségűek 11 338-ról 10 984-re csökkentek – körülbelül négy százalékos csök-

² A barnamezős beruházások alatt azt a folyamatot értjük, amikor a leromlott állapotú, többségében használaton kívüli, környezeti károkkal és tulajdonviszonyproblémákkal terhelt területeket megtisztítanak terheiktől, és elvégzik az új használati funkcióhoz szükséges infrastrukturális és funkcionális beruházásokat.

kenés. A legtöbb vállalkozás hazai kategóriában Pest megyében van, amit 2008 és 2012 között felváltva követ Bács-Kiskun és Hajdú-Bihar megye, majd csak ez után következik Győr-Moson-Sopron megye. Külföldi kategóriát tekintve a legtöbb vállalkozás szintén Pest megyében van, majd ezt követi Győr-Moson-Sopron és Vas megye. A legkevesebb vállalkozás mindkét kategóriában Nógrád megyét választotta telephelyül. A két kategória közötti korrelációs kapcsolatot mutatja be a 2. ábra, melyen a hazai és külföldi érdekeltségű vállalatok száma között pozitív irányú, szoros és lineáris kapcsolat rajzolódik ki.

A hazai járműipari beszállítói hálózat területi eloszlása alapján elmondható, hogy zömében az ország nyugati részét részesítik előnyben, ahogy maguk a hazánkat (egyik) telephelyül választó járműipari vállalatok is – de nem korlátozódik szigorúan azokra a megyékre, ahol a közvetlen termelés történik. Ha kibővítjük a kört, és nem csupán a járműipart vesszük alapul, akkor is elmondható, hogy ahol több a külföldi érdekeltségű vállalkozás, ott általánosságban több a hazai vállalkozás is. Ez jelentheti azt is, hogy a hazai KKV-k elégedettek az alárendelt viszonyal és a vertikális kapcsolatokkal.

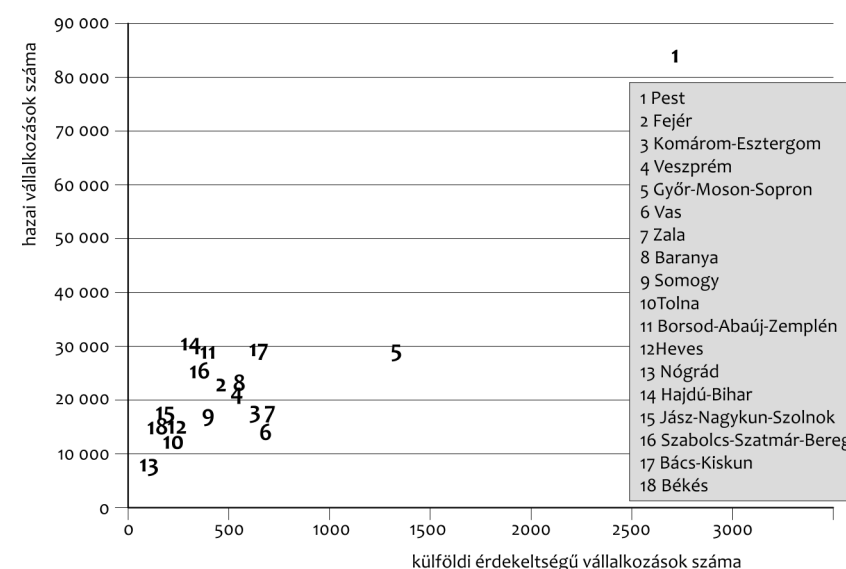
Európai Uniós támogatások segítségével azonban több próbálkozás is történt arra vonatkozóan, hogy a hazai KKV-k összefogva, együttesen hatékonyabban tudjanak a gazdaság szövetébe kapcsolódni és ezzel az egyik említett hátrányunkat, a mérethatékonyságot ledolgozni.

A hazai klaszterek hatása a gazdaságra

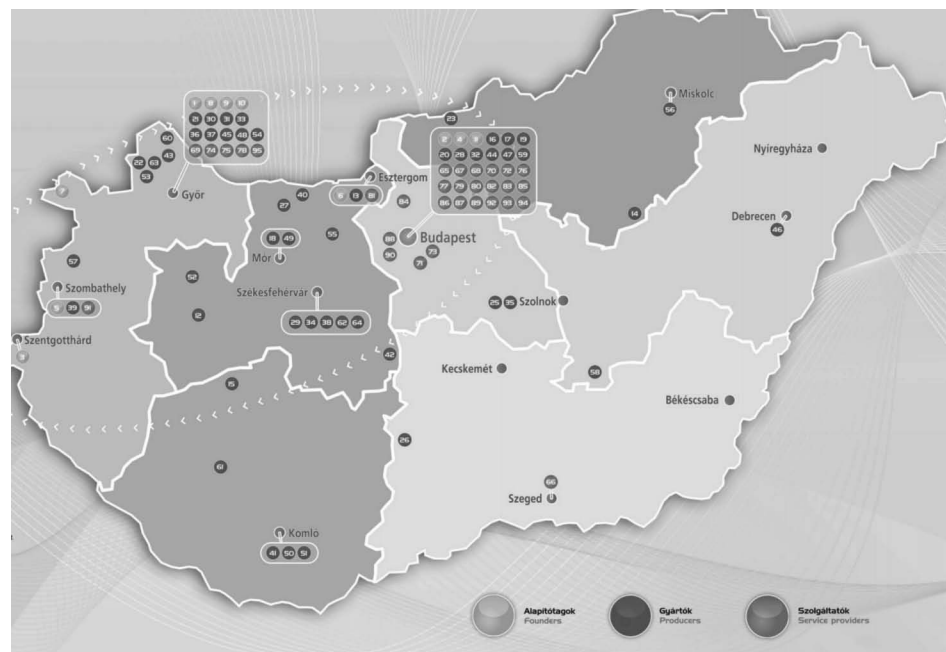
Pannon Autóipari Klaszter (PANAC) • A Pannon Autóipari Klaszter (PANAC) az autóipar területén érdekelt vállalkozások és szervezetek önkéntes alapon szerveződő, a kölcsönös előnyökön alapuló, innovatív hálózati együttműködése. A PANAC a Nyugat-dunántúli Regionális Fejlesztési Tanács kezdeményezésére 2000. december 20-án került megalapításra a legnagyobb magyarországi (multinacionális és magyar) autóipari vállalatok támogatásával, hogy iparág-specifikus szolgáltatásai révén elősegítse a hazai autóipar nemzetközi

versenyképességének javítását. A szakmai alapítók között található az Audi Hungaria Motor Kft., a Magyar Suzuki Zrt., az Opel Szentgotthárd Kft. (korábban: General Motors Powertrain – Magyarország Kft.), a LuK Savaria Kft. és a Rába Járműipari Holding Nyrt. Szolgáltatói alapítóként a Citibank Zrt., az Ipargazdasági Kutató és Tanácsadó Kft. és a Nyugat-dunántúli Regionális Fejlesztési Tanács említhető. A kezdeményezéshez aktív támogatóként csatlakozott a Gazdasági Minisztérium is.

A Klaszter működésében mindenekelőtt a komplex beszállítói fejlesztési feladatot kívánja megvalósítani, összefogva a magyar autóipar szereplőit. Tevékenységének közvetlen haszonélvezői elsősorban az autóipar területén működő magyar kis- és közepes vállalkozások. Főbb stratégiai célok között szerepel a Pannon térség nemzetközi versenyképességének erősítése; az autóipar területén



2. ábra • A hazai és külföldi érdekeltségű vállalkozások számának összefüggése megyénként (2012)



3. ábra • A Pannon Autóipari Klaszter alapítói és tagjai. Forrás: autocluster.hu (URL)

tevékenykedő vállalkozások közötti hosszú távú hálózati együttműködés hatékonyságának növelése; valamint az új autóipari vállalkozások alakulásának, letelepedésének és beszállítói kapcsolatok kialakulásának elősegítése; és az autóiparban már meglévő infrastruktúrák, technológiák, kapacitások közös hasznosítása, illetve újak közös beszerzése és működtetése.

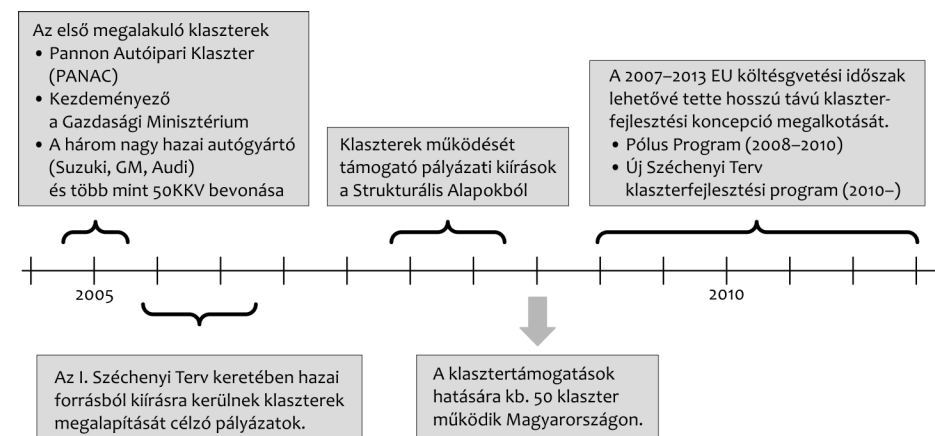
Ezen célok elérése érdekében a kezdeményezés segíti a magyar beszállítókat, hogy sikeresen csatlakozhassanak a globális beszállító láncokhoz és támogatja partnereit, hogy egyre komplexebb, magasabb tudástartalmú termékeket legyenek képesek előállítani, ezzel javíthassák pozíciójukat az ellátási láncban és megpróbálja a hálózatot és annak tagjait minél láthatóbbá tenni nemzetközi szinten.

A PANAC által létrejött egy átfogó adatbázis, mely tartalmazza a tagokra vonatkozó

folyamatosan frissített információkat. Ugyancsak meghatározásra került egy, az iparág követelményét tükröző beszállítóképesség-felmérő rendszer. A Klaszter 2015-ben 99 tagot számlál. Tevékenysége azonban nem korlátozódik csak a tagokra, szolgáltatásai minden autóiparhoz kapcsolódó vállalkozás számára elérhetőek. A klaszter tagjainak regionális eloszlását a 3. ábra szemlélteti.

A klaszter megalapítása jó példát szolgáltat arra, hogy a KKV-k összefogása versenyképesebbé teszi az adott iparágat, hisz ha hazai húzóágazatot kell említeni, akkor a járműipar emelhető ki leginkább.

További hazai klaszterfejlesztés • Az EU-s támogatások 2007–2013-as (Új Magyarország Fejlesztési Terv) időszaka alatt kialakult egy komplex klasztertámogatási rendszer, melynek kiindulópontjaként tekinthető a PANAC megalapítása. Ezt szemlélteti a 4. ábra.



4. ábra • A hazai klaszterfejlesztés fázisai (Forrás: MAG Zrt)

Mivel a KKV-k együttműködési képessége és hajlandósága nem bizonyult elég fejlettnak, így az Új Magyarország Fejlesztési Terv (ÚMFT) hangsúlyos szerepet adott a klaszterfejlesztésnek, a KKV-k közötti együttműködések, különösen a regionális ágazati klasztereken és a beszállítói hálózatok kialakításán keresztül (Horváth et al., 2013).

A több prioritást és operatív programot komplexen átfogó pólusprogramban az innováció erősítése, az innovatív klaszterek fejlesztése, a tudásalapú helyi gazdaság és a vállalkozások fejlesztése volt a fókusz. A kialakítandó regionális klaszterekkel pedig egy jól definiált iparág vagy üzletág nemzetközi versenyképességének megerősítése volt a cél.

Meghatározott fejlesztési pólusok:

- Debrecen: „a tudás iparosítása” – gyógyszeripar, agrárinnováció;
- Miskolc: „Technopolis” – nanotechnológia, vegyipar, mechatronika, megújuló, alternatív energiák;
- Szeged: „Biopolis” – egészségipar, környezetipar, agrárgazdaság, biotechnológia;
- Pécs: „az életminőség pólusa” – kulturális és környezetipar;

- Győr: „Autopolis” – autóipar, gépgyártás, megújuló energiák;
- Székesfehérvár és Veszprém: IKT, mechatronika, logisztika, környezetipar.

Ennek megfelelően az egyes Regionális Operatív Programok céljaiban egységesen, de a háttérben némileg különböző mértékben jelenik meg a klaszterek fejlesztésének elkötelezése.

- Közép-Magyarországi Operatív Program (KMOP): Budapest középtávú fejlesztési programjának részeként jeleníti meg a klaszterek támogatását. A helyi gazdaságfejlesztés eszközeként szerepel az együttműködések kialakítása és fejlesztése, egyrészt kommunikációs és szervezési tevékenységeken, másrészt fizikai infrastruktúrafejlesztésen keresztül.
- Dél-Alföldi Operatív Program (DAOP): a régióban hiányoznak a gazdasági húzóágazatokban tevékenykedő nagyvállalatok. A dél-alföldi térség SWOT-analízisében³ gyengeségként jelenik meg a klaszter-

³ SWOT: Strengths – erősségek; Weaknesses – gyengeségek; Opportunities – lehetőségek; Threats – veszélyek.

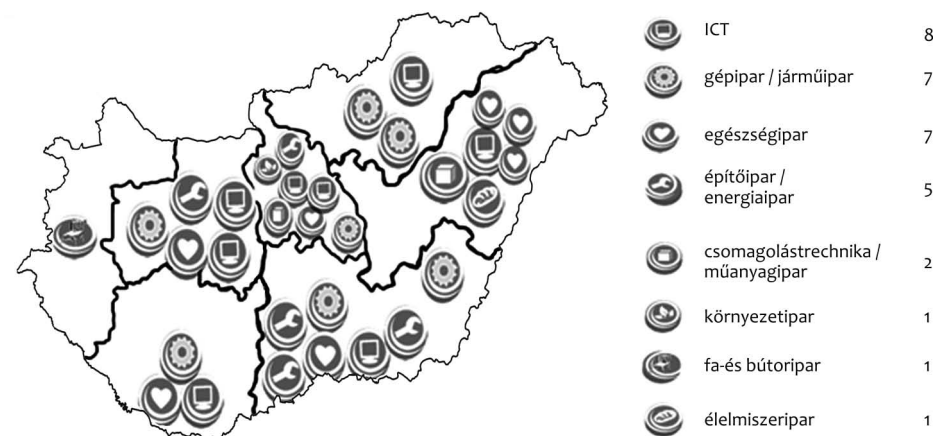
alapú együttműködések hiánya, ezért a regionális gazdasági hálózatok, klaszterek együttműködésének fejlesztését és a vállalkozások közös, hálózatos beruházásait tűzi ki célul.

- Dél-Dunántúli Operatív Program (DDOP): a hagyományos és új iparágakban már egyaránt elindult kezdeményezések megerősítését, és a még csírájában lévő további együttműködések felkarolását tűzte ki célul. A fejlesztésekkel a KKV-kra, másrészt a régióban erős tradíciókkal rendelkező iparágakra kívánt fókuszálni. Továbbá megjelent célként a turisztikai szektor szereplőinek összefogása, turisztikai klaszterek kialakítása is.
- Észak-Alföldi Operatív Program (ÉAOP): problémaként jeleníti meg, hogy rendkívül korlátozott mértékben alakult ki a régióban együttműködés, és alacsony a kooperáció magasabb színvonalát tükröző klaszterek száma. Ennek érdekében a regionális szintű vállalati együttműködések elősegítését a menedzsment tevékenységek és szolgáltatások fejlesztésén keresztül kívánta támogatni.
- Észak-Magyarországi Operatív Program (ÉMOP): a régióban nemzetközi szinten is meghatározó ágazatok versenyképességét a klaszterek működését segítő szolgáltatásokkal és a klasztertagok közös céljait szolgáló kiegészítő beruházásokkal kívánja tovább javítani. Itt is megjelent a turisztikai klaszterek és hálózatok létrehozásának terve, mellyel a régió eredményesebben tud fellépni a nemzetközi és hazai piacon a látogatók megnyerése érdekében.
- Közép-Dunántúli Operatív Program (KDOP): noha a régióban megtalálhatók a hagyományos és dinamikus fejlődő új szektorokban azok a vállalkozások,

amelyek potenciális klasztermagként funkcionálhatnak, az együttműködések többnyire fejletlenek, formálisak, erősebb menedzsmentre és a közös tevékenységek volumenének, hatékonyságának növelésére szorulnak. Ezért erősíteni kell a KKV-k versenyképességét a vállalkozások hálózatokba, klaszterekbe, „innovációs körökbe” integrálásával.

- Nyugat-Dunántúli Operatív Program (NYDOP): a régió legfontosabb ágazatait mentén 2000-től folyamatosan indultak olyan klaszterkezdeményezések, amelyek célja a vállalati együttműködések elősegítése, és a térség gazdaságában meghatározott kulcságazatok és azok kapcsolódó és háttérpara számára speciális szolgáltatások és infrastruktúra nyújtása, melyek már az OP-készítés idején országos összehasonlításban fejlett klaszterizációs folyamatot mutattak, de további fejlesztést igényeltek. A hazai klaszterfejlesztés segítségével 2007 és 2013 között harminckét új klaszter indult, ezek regionális elhelyezkedését és iparágankénti eloszlását az 5. ábra szemlélteti.

Magyarországon sikeres és kevésbé sikeres klaszterekre is találhatunk példát, de nemzetközi projektek kapcsán látszik, hogy hazánk a klaszteresedés területén egyáltalán nincs lemaradva, a legjobb hazai klaszterek kelet-közép-európai viszonylatban is megállják a helyüket. Léteznek működőképes klaszterek csak KKV-tagokkal is (Omnipack Csomagolástechnikai Klaszter). A tapasztalat azt mutatja, hogy a tényleges fejlődéshez és sikerességhez sok esetben elengedhetetlen, hogy a tagként megjelenő nagyvállalatok forrást áldozzanak a klaszter működésére, de ez hosszú távon működőképes formában csak akkor tud megvalósulni, ha a nagyvállalatok meg látják a valódi lehetőséget a hazai innovatív



5. ábra • Hazai klaszterfejlesztés eredménye (2007–2013). Forrás: Nemzetgazdasági Minisztérium

KKV-kban, és mindkét fél számára előnyös együttműködés alakul ki (Horváth et al., 2013).

A magyar tulajdonú cégek összefogásának egyik élharcosa Bodrogi Ferenc, a Forest-Papír Kft. ügyvezető igazgatója, a nyolc éve elindult Magyar Termék Nonprofit Kft. megálmodója. Elmondása szerint Olaszországban már hosszú évekkel ezelőtt kitapintható volt a versenytárs cégek együttműködése: bizonyos alapanyagokra például közös beszerzést hoznak létre, ami mindenki számára hasznos. Az összefogást tehát nevezhetjük klaszternek vagy akár másnak, a méretüket és lehetőségeiket tekintve kisebb vállalatok összefogva tudják legyőzni mérethatékonyságból származó hátrányukat, és szerezhetnek hosszú távra pozíciót a versenyben.

Összegzés

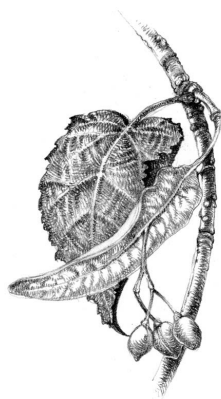
A kiszervezések fontossága röviden a költségek csökkentésében és a versenyképesség fokozásában található. A kérdés csak az, hogy hova és mennyit, illetve mit szervezzenek ki. Hazánkba 1990 óta folyamatosan történnek kiszervezések, azonban többnyire vertikális viszonyt ápolunk az ide települő vállalatokkal.

Erősségeinket láthatóan megbecsülik, azonban főbb gyengeségünk, a mérethatékonyság meggátolja a vertikális kapcsolatok horizontálisra váltását. A járműipari beszállítók többnyire az ország nyugati részében helyezkednek el – ahogy maguk a betelepülő vállalatok is – de általánosságban is elmondható mindez a regionális eloszlásról: ahol több a külföldi érdekeltségű vállalat, ott több a hazai is. Ez továbbra is csak az alárendelt viszonyt támasztja alá. Uniós támogatásokból 2007 és 2013 között azonban a PANAC példájára több klaszter is elindult; a mérethatékonyságot kihasználva szolgáltatók és termelők egymáshoz kapcsolódva illeszkednek a hazai gazdaság szövetébe. Az Új Magyarország Fejlesztési Terv által végzett felméréséből kiderülnek, hogy mik a regionális sajátosságok, így ezeknek megfelelően intézményi feltételek között lehetőség adódott a hiány leküzdésére. A hosszú távú fenntartáshoz azonban további befektetések szükségesek, mind materiális és immateriális értelemben.

Kulcsszavak: *versenyképesség, járműipari beszállítók, klaszterfejlesztés*

IRODALOM

- Antalóczy Katalin – Sass Magdolna (2003): Befektetés-ösztönzés és Magyarország csatlakozása az Európai Unióhoz. *Külgazdaság*, XLVII, április • https://www.researchgate.net/publication/267388241_Befektetssztnzs_s_Magyarorszg_csatlakozsa_az_Eurpai_Unihoz
- Árva László (1997): Külföldi működőtőke, hazai beszállítói kapcsolatok, külkereskedelmi mérleg és technológiatranszfer. *Közgazdasági Szemle*, november • <http://epa.oszk.hu/00000/00017/00032/pdf/arval.pdf>
- Horváth Marianna – Kerekes I. – Patik R. (2013): *Elemzés a magyar klaszterfejlesztés elmúlt 4. évéről (tények és tanulságok)*. Magyar Gazdaságfejlesztési Központ Zrt., Budapest • http://www.klaszterfejlesztas.hu/content/cont_51d4102c8c68e4.02287351/elemzes_a_magyar_klaszterfejlesztas_elmult_4_everol.pdf
- Kocsis Éva – Szabó Katalin (2000): *A posztmodern vállalat. Tanulás és hálózatosodás az új gazdaságban*. Oktatási Minisztérium, Budapest
- Krajewski, Lee J. – Ritzman, Larry P. (2005): *Operations Management – Processes and Value Chains*. Pearson Education International
- Lados Mihály – Kollár Katalin (2012): A helyi gazdaságfejlesztés és a járműipar Győr példáján. In: Rechnitzer János – Smahó Melinda (szerk.): *A járműipari beszállítói hálózat Kelet-Közép Európában és Magyarországon*. Universitas-Győr Nonprofit Kft., Győr
- Palkovics László (2009): Auf das eigene Know-how setzen, *Wirtschaft in Ungarn – Das Magazin der Deutsch-Ungarischen Industrie- und Handelskammer*, 4.
- Páthy Ádám – Róbert Péter (2012): A járműipari beszállítók körében végzett kérdőíves felmérés módszertana. In: Rechnitzer János – Smahó Melinda (szerk.): *A járműipari beszállítói hálózat Kelet-Közép Európában és Magyarországon*. Universitas-Győr Nonprofit Kft., Győr
- Reketye Gábor (2011): *Multidimenziális árazás*. Akadémia, Budapest
- Slack, Nigel – Chambers, S. – Johnston, R. (2001): *Operations Management*. Pearson Education International
- Szalavetz Andrea (1999): *Technológiai transzfer, innováció és modernizáció német tulajdonban lévő feldolgozóipari cégek példáján*. OMF, Budapest
- Török Ádám (1999): *Verseny a versenyképességért*. Miniszterelnöki Hivatal Integrációs Stratégia Munkacsoport, Budapest
- Vörös József (2010): *Termelés- és szolgáltatásmenedzsment*. Akadémia, Budapest
- URL: http://www.autocluster.hu/content_13-hu.html



A (NYELVI) BÉKE ESÉLYEI UKRAJNÁBAN (2015. JÚNIUS)¹

Csernicskó István

az MTA külső köztestületi tagja
II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola
csernicsko.istvan@kmf.uz.ua

Bevezetés

Az 1991-ben függetlenné vált Ukrajna rövid történetének legmélyebb válságát éli. Az ukrajnai krízis egész Európa biztonságát fenyegeti, és visszaveti nem csupán Ukrajna, hanem a szűkebb és tágabb térség gazdasági növekedését is. Az Európa államhatárait is megváltoztató, fegyveres összecsapással fajuló konfliktus kirobbanásának egyik ürügye a nyelvi kérdés rendezetlensége volt.

Egyensúlyozó ukrán nyelvpolitika (1989–2004)

A hirtelen függetlenné vált ország a nehéz politikai és gazdasági szituáció mellett összetett nyelvi helyzetet is örökölt a Szovjetunió széthullása után. Az ukrajnai politikai elit máig nem volt hajlandó érdemben szembenézni a nyelvi kérdéssel (Besters-Dilger, 2009; Majboroda et al., 2008). A probléma lényege röviden így foglalható össze: Ukrajna lakosságának 29,6%-a orosz anyanyelvű (a városi lakosság körében 39,5% az orosz ajkúak aránya), s a társadalom jelentős része kétnyelvű (Lozynskyi, 2008); az orosz a Szovjetunió domináns nyelve volt Szovjet-Ukrajna területén is, s ezt a pozícióját az ország számos ré-

gióban (főként a déli és keleti területeken, de sok tekintetben a fővárosban, Kijevben is) 1991 után is megőrizte: a lakosság jelentős része az orosz nyelvet (is) használja a mindennapokban (Bowring, 2014). Májig nem sikerült azonban választ találni arra a kérdésre, hogy milyen szerepe legyen az újonnan építendő ukrán államban az ukrán nyelvnek, illetve az oroszoknak. Az elsősorban az ukrán anyanyelvű szavazókra támaszkodó egyik, illetve a főként orosz ajkú választókra számító másik politikai tábor véget nem érő küzdelmet folytat egymással a választási kampányok idején (Stepanenko, 2003; Taranenko, 2007), egyébként viszont kényesen ügyelnek arra, hogy politikai manővereik révén fenntartsák a nyelvi téren kialakult *status quo*-t, s így elkerüljék az etnikai és nyelvi konfliktusokat (Polese, 2011, 41.).

Már a függetlenné válás előtt, még 1989-ben elfogadott nyelvtörvény is kompromisszum volt az ukránosítás és az akkori nyelvi helyzet konzerválása között: a jogszabály egyrészt kodifikálta az ukrán államnyelvi státusát, másrészt megőrizte az orosz nyelv privilegizált helyzetét a közelet számos területén (Besters-Dilger, 2011, 354.).

Az óvatosan egyensúlyozó nyelvpolitika taktikáját követte a független Ukrajna első elnöke, a kommunista időkből hatalmát si-

¹ Az MTA Anyanyelvünk Európában Elnöki Bizottság 2015. június 10-i ülésén megtartott előadás szerkesztett változata.

keresen átmertő Leonyid Kravcsuk. Hivatali ideje (1991–1994) alatt nem erőltette az ukránosítást, ám számos pozíciót engedett át a nemzeti elkölvezettségű elitnek, amely jelentős eredményeket ért el az államigazgatás és az oktatás ukrán nyelvűségének kialakítása terén; semmit sem tett viszont a sajtó és a kulturális élet orosz dominanciája ellen.

Az egyensúlyozó politikának volt mestere a két cikluson át (1994–2004) az elnöki székben ülő Leonyid Kucsma is, aki képes volt az érdekei megkívánta mértékben hol az ukrán, hol az orosz nyelvűek védelmezőjeként feltűnni (Stepanenko, 2003, 129.; Kulyk, 2007, 309.; Besters-Dilger, 2011, 356–358.). Az elnökválasztási kampányban a nemzeti retorikával megjelenő Kravcsukkal szemben Kucsma az Oroszországgal való kapcsolatok elmélyítésének, az orosz nyelv hivatalossá tételének ígéretével nyerte el a szavazók többségének bizalmát 1994-ben. Ám nem sok idő telt el, amikor ugyanez a politikus az 1999-es elnökválasztási kampányban – amikor az oroszbarát kommunista Petro Szimonenkóval került szembe – kijelentette: Ukrajnának csak egyetlen államnyelve lehet, ez pedig az ukrán (Portnov, 2009, 26.). Hintapolitikájának szintén jó példája az 1996-ban elfogadott Alkotmány, melynek 10. cikkelye kimondja: „Ukrajna államnyelve az ukrán”; ám a következő bekezdés szerint „Ukrajnában szavatolt az orosz és a többi nemzeti kisebbség nyelvének szabad fejlődése, használata és védelme”.

Narancsos nyelvpolitika (2004–2010): az egyensúly felborulása

A 2004-es narancsos forradalom révén hatalomra jutott Viktor Juscsenko elnöki ciklusa (2005–2010) idején a nyelvpolitika legfontosabb célkitűzésévé az ukrán államnyelvi státusának gyakorlati érvényesítése volt. A poli-

tikai szándék az volt, hogy a *de jure* helyzet (Ukrajna egynyelvű állam) és a *de facto* szituáció (az ország lakosságának túlnyomó része többnyelvű és nem csak az államnyelvet használja a mindennapokban) közötti feszültséget feloldják. „Állítható, hogy az ukrán állam túlélése az ukrán nyelvnek az állami és társadalmi élet valamennyi szférájába történő reális bevezetésétől függ. A jelenlegi körülmények között a nyelv a nemzeti biztonság, a területi egység, a nemzettudat és a nép történelmi emlékezetének garanciája” – írta egyik cikkében Juscsenko (2010).

A megválasztása után az ukrán nyelv és nemzeti identitás harcosaként fellépő Juscsenko a választási kampány során még „történelmi kompromisszumról” beszélt. „A történelmi kompromisszum abban rejlik, hogy mi, ukrainofonok elismerjük, hogy az orosz nyelv a mi társadalmunk számára több, mint egy nemzeti kisebbség vagy egy szomszédos állam nyelve. A ruszofonoknak azonban egyet kell érteniük azzal, hogy az évszázadokon át üldözött ukrán nyelvnek joga van a pozitív diszkriminációhoz” – mondta (idézi Shumlianskyi, 2006, 98.). Ám a narancsos erők a választási győzelem után már úgy vélték, „Ukrajna deformált nyelvi helyzetet örökölt”, melyet az állami nyelvpolitikának – attól függetlenül, megvan-e ehhez a társadalmi konszenzus – „ki kell egyenesítenie”.² Azaz: vissza kell hoznia azt az ideálisnak vélt állapotot, amikor az orosz csak egyike a számos kisebbségi nyelvnek, az ukrán ellenben államnyelvként az összes formális funkcióban egyeduralgó.

² Szó szerinti idézetek *Az állami nyelvpolitika koncepciója* című dokumentumból, melyet Juscsenko elnök regnálásának utolsó napjaiban (2010. 02. 15-én) adott ki: Концепція державної мовної політики. Схвалено Указом Президента України від 15 лютого 2010 року № 161/2010: URL: (2015. 04. 15).

Az államelnökök sorában azonban éppen a 2004-es narancsos forradalom révén hatalomra jutott Juscsenko bizonyult a legkevésbé eredményesnek az ukránosításban. A kudarc bizonyítéka egyebek mellett, hogy éppen ebben az időszakban tudott megerősödni a kétnyelvűséget zászlajára tűző Régiók Pártja (Besters-Dilger, 2011, 353–361.).

A 2010-es elnökválasztás el is söpörte a narancsos elitet. Az a Viktor Janukovics nyerte meg a választást – a narancsosok két vezérével, a már a 2010. január 17-én sorra került első fordulóban elvérzett Juscsenkóval, illetve a február 7-én megszervezett második fordulóban legyőzött Julija Timosenkóval szemben –, aki a kampányban azt ígérte, hogy rendezi az orosz nyelv státusát.

Janukovicsék nyelvpolitikája (2010–2014): apró lépések a konszenzus felé vagy olaj a tűzre?

A Régiók Pártja – választási ígéretének megfelelően – a nyelvpolitikát a valós nyelvi helyzetre kívánta alapozni: kodifikálni akarta az ország *de facto* kétnyelvűségét az orosz második államnyelvi státusába emelésével. Érvelésük fontos eleme volt, hogy az erőszakos ukránosítás veszélyezteti az orosz ajkú lakosság nyelvi és nemzetiségi jogait, háttérbe szorítja az orosz nyelvet, kultúrát, az orosz ajkú polgárokat (Bowring, 2014.). Az e táborba tartozók azonban az orosz nyelv szabad használatának jogát nemcsak a déli és keleti régiókban követelték, hanem az egész országra szerették volna kiterjeszteni az orosz (második) államnyelvi hatókörét. Vagyis azokra a területekre is, ahol az orosz ajkú lakosság aránya elenyésző.

A Janukovicsot az elnöki székbe segítő Régiók Pártja hatalomra lépését követően nem törődve az ellenzék által szervezett tiltakozó akciókkal, hozzáfogott az alkotmány és a nyelvtörvény átírásához. Az alkotmánymó-

dosítás kudarcba fulladt, az 1989-es, még a szovjet időkbeli származó nyelvtörvény helyett azonban 2012-ben sikerült újat elfogadni. Ahogy az ukrainai politikában a nagy horderejű kérdések esetében megszokott (Fedinec, 2012), a nyelvtörvényt is több nekifutásra (Csernicskó – Fedinec, 2015), politikai háttéralkuk közepette, botrányos körülmények között szavazta meg a parlament 2012. július 3-án (Fedinec – Csernicskó, 2012; Moser, 2013).

A hivatalosan *Ukrajna törvénye az állami nyelvpolitika alapjairól* (Закон України „Про засади державної мовної політики”) címet viselő, de a közbeszédben csak nyelvtörvényként emlegetett jogszabály 2012. augusztus 10-én lépett hatályba (URL2). A törvény 7. cikkely 2. része felsorolja hatálya alá tartozó 18 nyelvet: orosz, belarusz, bolgár, örmény, gagauz, jiddis, krími tatár, moldáv, német, görög, lengyel, roma (cigány), román, szlovák, magyar, ruszin, karaim és krimcsak. Ezeket a nyelveket – a *Regionális vagy kisebbségi nyelvek európai kartájára* hivatkozva – „regionális vagy kisebbségi nyelvekként” határozza meg. Más nyelvek nem rendelkezhetnek ilyen státussal az országban. Azoknak a közigazgatási egységeknek (megyei, járási, települési önkormányzatoknak) a területén, ahol a törvényben felsorolt tizenhét nyelv közül egy (vagy több) anyanyelvi beszélőinek aránya eléri a 10%-ot, az adott kisebbségi nyelv hivatalos nyelvi funkciókban használható az államnyelv mellett (Tóth – Csernicskó, 2014).

Országosan az orosz anyanyelvűek aránya 29,6%, de a jogszabály alkalmazását csak megyei, járási és települési szinten írja elő a törvény. Hiába haladja meg tehát jelentősen az orosz anyanyelvűek aránya a 10%-ot Ukrajnában, országos szinten csak egy államnyelv és hivatalos nyelv van: az ukrán. A törvény kritikusai szerint a jogszabály kizárólag az orosz

anyanyelvűek számára hozhat előrelépést, más kisebbségi közösségek a gyakorlatban nem élhetnek a nyelvtörvény adta lehetőségekkel. Mások szerint a Janukovics mögött álló politikai erők – azzal, hogy lemondtak arról, hogy az orosz második államnyelv legyen, vagy az ország egész területén hivatalos nyelvi státust kapjon – léptek egy aprót a társadalmi és politikai konszenzus kialakításának irányába. Ennek ellenére a nyelvtörvénynek számos ellenzője volt, utcai demonstrációkon tiltakoztak elfogadása ellen. A nyelvi kérdés megnyugtató rendezését tehát nem hozta meg.

Úton a háború felé

2013 novemberében az államcsőd felé tartó Ukrajna elnöke – a szigorú és népszerűtlen megszorításokat erőltető IMF-hitel helyett a sokkal kedvezőbb feltételekkel és azonnal kínált oroszországi kölcsönt választva – nem írta alá Vilniusban az Európai Unió és Ukrajna közötti társulási megállapodást, illetve szabadkereskedelmi egyezményt. November 23-án Kijev központi terén tüntetések kezdődtek Ukrajna európai integrációjáért, az Oroszországhoz közeledés ellen. Az *Euromaidan* néven ismertté vált tiltakozások egy ideig békésen zajlottak (Fedinec, 2014, 38–39.). Ez volt a *méltóság forradalma* (революція гідності). November 30-án a rendőrség indokolatlanul brutális beavatkozása a tiltakozást országos megmozdulássá terebélyesítette. 2014. január 16-án a Janukovics elnök mögött álló parlamenti többség drasztikus törvényeket hozott az állampolgárok gyülekezési jogának korlátozására. Ennek hatására a tüntetés halálos áldozatokkal járó,³ kontrollálatlan erőszakhullámba torkollott. A kaotikussá

vált politikai helyzetben 2014. január 28-án lemondott Mikola Azarov kormányfő, február 22-én pedig Janukovics elmenekült az országból. Miközben a parlamenttől néhány száz méterre erőszak tombolt, az új hatalmi helyzetre reagáló képviselők már másnap, 2014. február 23-án – a Batykivcsina [Haza] frakciójához tartozó Vjacseszlav Kirilenko képviselő előterjesztésére – a nyelvtörvény eltörléséről fogadtak el jogszabályt.⁴ Oroszország azonnal bejelentette: védelmébe veszi az ukrainai orosz anyanyelvű közösséget, megvédi őket az ukrán nacionalizmustól. Az 1954-ben a Szovjetunió belüli az Orosz Föderációtól az Ukrán Szovjet Szocialista Köztársasághoz csatolt Krími Autonóm Köztársaság területén már aznap megjelentek az orosz hadsereg felségjelzés nélküli fegyveresei, a közbeszédben zöld emberkékként emlegetett katonák (Fedinec, 2014, 41.).⁵

Az Ukrajna elnöki posztját és a parlament házelnöki tisztjét akkor egy személyben ideiglenesen betöltő Olekszandr Turcsinov az események hatására február 27-én úgy döntött, mégsem írja alá a 2012-es nyelvtörvényt hatályon kívül helyező dokumentumot. Az állami nyelvpolitika alapjairól 2012-ben hozott törvény tehát hatályban maradt.

A nyelvtörvény eltörlése helyett Turcsinov javaslatot tett egy új nyelvtörvény kidolgozásával megbízandó munkacsoport kialakítására (URL4). A parlament március 4-i ülésén határozott a nyelvtörvényt előkészítő ideiglenes eseti bizottság létrehozásáról (URL5).

⁴ *Ukraine Abolishes Law on Languages of Minorities, Including Russian* (2014. 02. 23.). (URL3)

⁵ 2014. március 16-án a Krím-félsziget lakosai orosz támogatással szervezett népszavazáson nyilvánították ki, hogy csatlakozni szeretnének Oroszországhoz, amely március 18-án Moszkvában aláírt szerződéssel csatolta a Krímet az ország területéhez.

A tizenegy tagú bizottságban minden akkori parlamenti frakció képviselői helyet kaptak. Elnöke Ruszlan Kosulinszkij, a parlament egyik alelnöke, a szélsőjobboldali Szvoboda [Szabadság] Párt képviselője lett. A bizottság létrehozása, illetve Kosulinszkij kinevezése az ukrainai nyelvpolitikai hagyományba jól illeszkedő taktikai lépés volt. Az új nyelvtörvény kidolgozásával megbízott munkacsoport felállításával ugyanis Turcsinov egyszerre üzent az ukrán, illetve az orosz nyelvű tábornak. Az ukrán nyelv kizárólagos pozícióit célként kitűzők számára megnyugtató lehetett, hogy az új hatalom nem kívánja hatályban tartani a Janukovicshoz kötődő nyelvtörvényt. Azzal, hogy a szélsőjobboldali Kosulinszkij került a bizottság élére, a politikai vezetés azt is jelezte, hogy nem az orosz nyelv státusának megerősítése lesz az új nyelvtörvény fő célja. Ugyanakkor a társadalom orosz ajkú része is reménykedhetett: a 2012-ben elfogadott nyelvtörvény mégis hatályban maradt, és az új jogszabály kidolgozása parlamenti keretek között indult meg. Reményeiket fokozhatta, hogy a bizottság tagjai között volt Musztafa Dzsemelev, a krími tatár, Ivan Popescu, a román és Gajdos István, a magyar közösség tagja is (mindhárman parlamenti képviselők).⁶

A bizottság összesen öt ülést tervezett, melyek közül azonban háromra – mert a bizottság tagjai a határozathozatalhoz elégtelen számban jelentek meg – nem kerülhetett sor.

⁶ Dzsemelev az akkori kormánypárt, azaz a Batykivcsina frakciójának tagja volt. Popescu és Gajdos eredetileg a Régiók Pártja listáján jutott a parlamentbe, de a Janukovics hatalma elleni tüntetések során mindketten kiléptek a frakcióból. Előbbi akkor frakción kívüli, utóbbi pedig az új kormány megalakulása után létrejött Szuverén Európai Ukrajna képviselőcsoport tagja volt. A 2014-ben megválasztott új parlamentben Dzsemelev a Petro Prosenko Blokk frakciójának tagja. Popescu és Gajdos nem tagja a törvényhozásnak.

Március 4-ei első ülésén a bizottság arról döntött, hogy a képviselők javaslatai alapján szakértőket (nyelvészeket, irodalomárokat, művészeket) kér fel Ukrajna egész területéről, hogy tanácskozási joggal vegyenek részt a munkában. Meghatározták azt is, hogy az új törvénytervezet kidolgozása során – Ukrajna Alkotmányának 10. cikkelyéből kiindulva – az alábbi dokumentumokat tekintik alapnak: (1) az 1989 és 2012 között hatályban lévő nyelvtörvény, (2) a *Regionális vagy kisebbségi nyelvek európai kartája* és (3) annak ukrainai ratifikációs törvénye, (4) a 2012-es nyelvtörvény, (5) a 2013. január 10-én három ellenzéki párt képviselői által kidolgozott tervezet szövege (URL6), valamint (6) a független Ukrajna első elnöke, Leonyid Kravcsuk által vezetett munkacsoport által előkészített (de a parlament elé be nem nyújtott) nyelvtörvénytervezet (URL7).⁷

A bizottság egy hét múlva sorra kerülő ülésén kiegészítették az alapul vett dokumentumok listáját *Az állami nyelvpolitika koncepciója* címmel még 2010. február 15-én az akkori elnök, Jucsenko által elnöki rendeletben megerősített szöveggel,⁸ illetve a Velencei Bizottság (például URL9 és URL10) és az EBESZ kisebbségi főbiztosa (URL11) által a 2012-es nyelvtörvény tervezetei kapcsán kiadott állásfoglalásokkal. A képviselők ezen az ülésen többségi szavazással arról is határoztak, hogy nem dolgoznak ki új jogszabálytervezetet, hanem a Kravcsuk vezette munkacsoport tervezetét tekintik alapnak (URL12). Ezt a csoportot még Janukovics kérte fel 2012 végén arra, hogy „tökéletesítse” az új nyelvtör-

⁷ A tanulmány szerzőjét, valamint Tóth Mihály ukrainai magyar kutatót és politikusát (aki részt vett a 2012-es nyelvtörvény szövegének megfogalmazásában) szintén szakértőnek kérték fel.

⁸ Концепція державної мовної політики. (URL8)

vényt (URL13). A Kravcsuk-féle csoport létrehozásának kiváltó oka az ország jelentős részén kibontakozott nyelvtörvény elleni tiltakozáshullám volt. (Lásd például URL14)

Kosulinszkij a parlament április 11-i plenáris ülésén hivatalosan is bejelentette, hogy a bizottság a Kravcsuk vezetésével kidolgozott nyelvtörvénytervezetet tekinti vitaalapnak. A tervezethez a bizottság néhány tagja⁹ és több felkért szakértő számos kritikai kommentárt fűzött (URL15). A Beregszászon működő nyelvészeti kutatóműhely elemzésében megállapította, hogy a tervezet hatályba lépése és következetes alkalmazása jelentős visszalépést jelentene a kárpátjai magyar közösség nyelvi jogai terén (URL16). Kosulinszkij a parlamentben közölte, hogy a tervezet szövegét a parlamenti vita előtt elküldik véleményezésre a Velencei Bizottsághoz, az EBESZ-hez, az Európa Tanácshoz, valamint minden ukrániai nemzeti kisebbség képviselőihez (URL17).

Astrid Thors, az EBESZ kisebbségi főbiztosa ukrániai látogatása után tett nyilatkozatában azonban már 2014. április 7-én kifejtette: „Nem lehet kétséges, hogy a 2012-es *Az állami nyelvpolitikai alapjairól* szóló törvény hatályban maradt, és jogilag semmi sem változott a nyelvek státusát illetően. [...] Ezért az ukrán parlamentnek nem kell elhamarkodnia bármilyen új döntést. Remélem, hogy minden parlamenti erő el tudja fogadni ezt az álláspontot” (URL18).

2014 áprilisában az újabb belpolitikai fejlemények az új nyelvtörvény ügyét háttérbe szorították: az orosz hadsereg támogatásával a kelet-ukrajnai Donyeck és Luhanszk megyékben fegyveres konfliktus tört ki. A nemzetközi sajtóban eufemisztikusan „ukrán

válságnak” nevezett háború (Fedinec, 2015) összeadódott az ország rendkívül súlyos gazdasági helyzetével és kiegyensúlyozatlan belpolitikai viszonyaival.

A béke reménye

A nyelvtörvény eltörlésére irányuló szándék, a nyelvi kérdés megoldatlansága tehát egyik ürügye lett az ukrániai krízisnek. Ezt természetesen érezte a kijevi parlament is. A képviselők 2014. május 20-án *Memorandum a megértésről és a békéről* címmel állásfoglalást szavaztak meg, melyben a nyelvek helyzete kapcsán ez áll: „Az ukrán nyelv mint államnyelv alkotmányos státusával párhuzamosan Ukrajna Legfelsőbb Tanácsa garantálja az orosz nyelv státusának biztosítását. Az állam szintén garantálni fogja a nemzeti kisebbségek nyelveinek támogatását a kisebbségek által kompakt módon lakott területeken.”¹⁰

Az ukrániai társadalom azonban a függetlenné válás óta nem nézett szembe több alapvető problémával. Ezeket Andrej Portnov (2009, 49.) így foglalta össze: „hogyan lehet figyelembe venni a regionális különbségeket olyan módon, hogy azok ne a konfrontációt és a kölcsönösen diszkrimináló kategóriákat, hanem a sokszínűségben rejlő előnyöket erősítsék; hogyan lehet elfogadni a máságot [...], s nem mint fenyegetést, hanem mint esélyt az ország számára”.

Ameddig az ukrániai politikai elit meghatározó szereplői nem néznek szembe ezekkel a kérdésekkel, sajnos nincs esély a tartós békére és társadalmi konszenzusra.

Ebben a szituációban a 2012-ben elfogadott nyelvtörvény – a nyelvkérdés politikai beágyazottsága és a ráakódott szimbolikus

rétegek miatt – nem válhatott a konszolidáció alapjává. A Krím-félsziget Oroszország általi annektálása, a Kelet-Ukrajnában folyó fegyveres konfliktus közepette a kompromisszum reménye napról napra távolodik. A megosztottságot tovább növeli, hogy a 2004-es narancsos forradalmat, illetve a 2013 végén, 2014 elején lezajlott hatalomváltást (mindkettő Janukovicsnak a hatalomból való eltávolításával járt) az USA és az Európai Unió, valamint Ukrajna polgárainak megközelítőleg fele demokratikus forradalomként, Oroszország, illetve az ukrán lakosság nagyjából fele ellenben a törvényes hatalom megdöntését eredményező puccsként értékeli (Darden, 2014).

A konfliktus többé-kevésbé megnyugtató lezárása csak akkor képzelhető el, ha a központi hatalom feladja centralizációs és homogenizációs terveit, s a hőn áhított egységet a sokféleségben próbálja megtalálni. Nevezzék ezt a folyamatot decentralizációnak, föderalizációnak vagy regionalizációnak, Kijevnek hatalma egy részét – elsősorban az oktatás, a nyelvi jogok és a gazdaságfejlesztés területén – a régióknak kell átengednie. A belső határok meghúzója, a fejlesztési és közigazgatási egysé-

gek kialakítása során pedig a központnak figyelembe kell vennie, hogy a mai Ukrajna területén számos régió rendelkezik jelentős történelmi, kulturális, politikai, gazdasági tradíciókkal, s az egyes vidékek lakossága eltérő etnikai, nyelvi és felekezeti összetételű (Karacsony et al., 2014). Az ország közigazgatási reformjához szükséges megfelelő alkotmányos forma megtalálása lényeges lépés lehet a jogállamiság, a demokrácia, a társadalmi konszolidáció, a politikai stabilitás és a gazdasági fellendülés, valamint – egyáltalán nem utolsósorban – a várva várt béke felé. Bárki legyen hatalmon Ukrajnában, akármilyen lesz az ország közigazgatási felosztása, a politikai elitnek szembe kell néznie azzal a ténnyel, hogy Ukrajna lakossága sem etnikailag, sem nyelvileg nem homogén; s ha ezt végre tudatosítja, akkor ennek megfelelően kell rendeznie a nyelvi jogi helyzetet is, meg kell találnia a társadalmi konszenzushoz és a megbékéléshez vezető utat. Ez az ukrániai többség és a kisebbségek közös érdeke.

Kulcsszavak: *Ukrajna, ukrán válság, nyelvpolitika, nyelvi konfliktus*

IRODALOM

- Besters-Dilger, Juliane (ed.) (2009): *Language Policy and Language Situation in Ukraine: Analysis and Recommendations*. Peter Lang, Frankfurt am Main. • <http://tinyurl.com/qxwtmgk>
- Besters-Dilger, Juliane (2011): Нація та мова після 1991 р. – українська та російська в мовному конфлікті. In: Андреас Каппелер (ред.): *Україна. Процеси націотворення*. Видавництво К.І.С., Київ. 352–364.
- Bowring, Bill (2014): The Russian Language in Ukraine: Complicit in Genocide, or Victim of State-building? In: Lara Ryazanova-Clarke (ed.): *The Russian Language Outside the Nation*. Edinburgh University Press, Edinburgh. 56–78.
- Csernicskó István – Fedinec Csilla (2015): Nyelvpolitika határon: a 2012-es ukrániai nyelvtörvény elő- és

- utóéletéről. In: Márku Anita – Hires-László Kornélia (szerk.): *Nyelvoktatás, kétnyelvűség, nyelvi tájkép. Tanulmányok a Hodinka Antal Nyelvészeti Kutatóközpont kutatásaiból*. Autdor-Shark, Ungvár. 206–238. • <http://tinyurl.com/oe94wak>
- Darden, Keith (2014): How to Save Ukraine. Why Russia Is Not the Real Problem. *Foreign Affairs*. 14. Ápril 2014. • <http://tinyurl.com/oxk73m5>
- Fedinec Csilla – Csernicskó István (2012): Nyelvtörvény Saga Ukrajnában: a lezáratlan 2012-es fejezet. *Kisebbségkutatás*. 3, 568–588. • <http://tinyurl.com/oysps4q>
- Fedinec Csilla (2012): Ukrajna helye Európában és a magyar–ukrán kapcsolatok két évtizede. *Külgügyi Szemle*. 4, 99–123. • <http://tinyurl.com/oa2bx6s>
- Fedinec Csilla (2014): Új szavak és kifejezések az Ukrajna-szótárunkba. *Új Egyenlítő*. 5, 38–41. • http://real.mtak.hu/17017/7/Fedinec-UjE_2014_5.pdf

⁹ Köztük – Tóth Mihály szakmai érveivel megtámogatott beadványban – Gajdos István.

¹⁰ Постанова Верховної Ради України Про меморандум порозуміння й миру. URL19

- Fedinec Csilla (2015): A háború, melyet ukrán válságnak neveznek. *Új Egyenlítő* 2–3, 45–48. • http://real.mtak.hu/23434/1/UE_15_2_3_u.pdf
- Juscenko, Viktor (2010): Чия мова – того й влада. *День*. № 180, 6.10.2010. • <http://tinyurl.com/nwhddye>
- Karácsonyi Dávid – Kocsis K. – Kovály K. – Molnár J. P. (2014): East–West Dichotomy and Political Conflict in Ukraine – Was Huntington Right? *Hungarian Geographical Bulletin*. 2, 99–134. DOI: 10.15201/hungeobull.63.2.1 • <http://tinyurl.com/ouo8m5w>
- Kulyk, Volodymyr (2007): Языковые идеологии в украинском политическом и интеллектуальном дискурсах. *Отечественные записки* 1, 296–316. • <http://tinyurl.com/qy5w99v>
- Kulyk, Volodymyr (2009): Language Policies and Language Attitudes in Post-Orange Ukraine. In: Besters-Dilger, Juliane (ed.): *Language Policy and Language Situation in Ukraine: Analysis and Recommendations*. Peter Lang, Frankfurt am Main, 15–57. • <http://tinyurl.com/nmhr7kt>
- Lozynskyi, Roman (2008): Мовна ситуація в Україні. Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, Львів
- Majboroda, Oleksandr et al. (eds.) (2008): Мовна ситуація в Україні: між конфліктом і консенсусом. Інститут політичних і етнонаціональних досліджень імені І. Ф. Кураса НАН України, Київ. • <http://tinyurl.com/nluzdtk>
- Moser, Michael (2013): *Language Policy and the Discourse on Languages in Ukraine under President Viktor Yanukovich (25 February 2010–28 October 2012)*. ididem–Verlag, Stuttgart
- Pesele, Abel (2011): Language and Identity in Ukraine: Was it Really Nation-Building? *Studies of Transition States and Societies* 3, 36–50. • <http://tinyurl.com/nz8ex3f>
- Portnov, Andrej (2009): Тортенемірач укрїн мідра. Мегігжзєкє а хєткїзнпї валїсїг тїртєнєтї алїпї атрєндєзєсїхєз. In: Fedinec Csilla – Szereda Viktor (szerk.): *Ukraina színeváltozása 1991–2008. Politikai, gazdasági, kulturális és nemzetiségi attitűdök*. Kalligram Könyvkiadó, Pozsony. 11–49.
- Shumlianskyi, Stanislav (2006): „Мовне питання” після парламентських виборів: від політичної кон’юктурї до державної політики. *Політичний менеджмент* 3, 97–104.
- Stepanenko, Viktor (2003): Identities and Language Politics in Ukraine: The Challenges of Nation-State Building. In: Farimah Daftary – François Grin (eds.): *Nation-Building Ethnicity and Language Politics in Transition Countries*. Local Government and Public Service Reform Initiative – Open Society Institute, Budapest. 109–135. • <http://tinyurl.com/peoq3xl>
- Taranenko, Oleksandr (2007): Ukrainian and Russian in Contact: Attraction and Estrangement. *Int. Journal of the Sociology of Language* 183, 119–140. DOI: 10.1515/IJSL.2007.007 • <http://tinyurl.com/o2b32u9>
- Tóth Mihály – Csernicskó István (2014): Tudománysgyakorlati kommentár Ukrajnának az állami nyelvpolitika alapjairól szóló törvényéhez. Intermix, Ungvár–Budapest. • <http://real.mtak.hu/23321/1/13589.pdf>
- URL1: <http://www.president.gov.ua/documents/10486.html>
- URL2: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/5029-17> (2015. 02. 09.)
- URL3: http://rbth.co.uk/news/2014/02/23/ukraine_abolishes_law_on_languages_of_minorities_including_russian_34486.html
- URL4: <http://iportal.rada.gov.ua/news/Novyny/Povidomlennya/88685.html> (2014. 10. 18.)
- URL5: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/851-18> (2015. 02. 05.)
- URL6: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=45410 (2015. 06. 12.)
- URL7: <http://iportal.rada.gov.ua/news/Novyny/Povidomlennya/89010.html> (2015. 02. 09.)
- URL8: <http://www.president.gov.ua/documents/10486.html> (2015. 04. 15.)
- URL9: <http://www.venice.coe.int/webforms/documents/?pdf=CDL> (2011)010-e
- URL10: [http://www.venice.coe.int/webforms/documents/default.aspx?pdffile=CDL-AD\(2011\)047-e](http://www.venice.coe.int/webforms/documents/default.aspx?pdffile=CDL-AD(2011)047-e) (2015. 06. 12.)
- URL11: <http://jurliga.ligazakon.ua/news/2011/1/20/36476.htm> (2015. 06. 12.)
- URL12: <http://iportal.rada.gov.ua/news/Novyny/Povidomlennya/89249.html> (2015. 02. 09.)
- URL13: <http://tyzhden.ua/News/57359> (2015. 02. 09.)
- URL14: <http://www.unian.ua/politics/669714-aktsiji-proti-movnogo-zakonu-vidbuvayutsya-v-bagatoh-mistah-ukrajini.html> (2015. 02. 09.)
- URL15: <http://iportal.rada.gov.ua/news/Novyny/Povidomlennya/90599.html> (2015. 02. 09.)
- URL16: <http://www.karpatalja.ma/karpatalja/nezopont/megvan-az-uj-nyelvtorveny-tervezet/> (2012. 06. 12.)
- URL17: <http://iportal.rada.gov.ua/meeting/stenogr/show/5239.html> (2015. 02. 09.)
- URL18: <http://www.osce.org/hcnm/117175> (2015. 06. 12.)
- URL19: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1280-18> (2015. 06. 07.)

Tudós fórum

KITÜNTETÉSEK

Nemzeti ünnepünk, augusztus 20. alkalmából Áder János, Magyarország Köztársasági Elnöke magas kitüntéseket adományozott.

Magyar Érdemrend Középkereszt a csillaggal kitüntetést vehetett át

Korinek László Dezső, az MTA rendes tagja, a Pécsi Tudományegyetem Állam- és Jogtudományi Kar Kriminológiai és Büntetés-végrehajtási Jogi Tanszékének egyetemi tanára,

Perner Ferenc, Széchenyi-díjas sebész, az orvostudomány doktora, a Semmelweis Egyetem Általános Orvostudományi Kar Transzplantációs és Sebészeti Klinikájának professor emeritusa.

Magyar Érdemrend Középkeresztje kitüntetésben részesült

Beke Dezső, a fizikai tudomány doktora, a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar Fizikai Intézet Szilárdtest Fizikai Tanszékének egyetemi tanára, Dóczi Tamás Péter, az MTA rendes tagja, a Pécsi Tudományegyetem Idegsebészeti Klinika egyetemi tanára, Dulácska Endre, Széchenyi-díjas építésmérnök, a műszaki tudomány doktora, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi

Egyetem Építésmérnöki Kar Szilárdság-tani és Tartószerkezeti Tanszék professor emeritusa,

Kálmán Alajos, Széchenyi-díjas kémikus, az MTA rendes tagja, a Magyar Tudományos Akadémia Természettudományi Kutatóközpont Szerves Kémiai Intézetének nyugalmazott tudományos osztályvezetője,

Orosz István, az MTA rendes tagja, a Debreceni Egyetem Bölcsészettudományi Kar Történelmi Intézetének professor emeritusa,

Póór Gyula, az MTA doktora, az Országos Reumatológiai és Fizioterápiás Intézet főigazgatója, a Semmelweis Egyetem egyetemi tanára, a Marosvásárhelyi Orvostudományi és Gyógyszerészeti Egyetem Orvostovábbképző Karának professzora,

Somfai László, Széchenyi-díjas és Erkel Ferenc-díjas zenetörténész, az MTA rendes tagja, az MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont Zenetudományi Intézet és a Liszt Ferenc Zeneművészeti Egyetem professor emeritusa,

Taxner-Tóth Ernő, Széchenyi-díjas irodalomtörténész, az irodalomtudomány doktora, a Debreceni Egyetem Bölcsészettudományi Kar Magyar Irodalom- és Kultúratudományi Intézetének professor emeritusa.

Magyar Érdemrend Tisztikereszt
polgári tagozat kitüntetést kapott

Adriányi Gábor Frigyes, az MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont tudományos tanácsadója, professor emeritus,
Bakó Gyula, az orvostudomány doktora, a Debreceni Egyetem Klinikai Központ Általános Orvostudományi Kar Belgyógyászati Intézet Geriátriai Nem Önálló Tanszék tanszékvezető egyetemi tanára,
Csath Magdolna, a közgazdaság-tudomány doktora, a Szent István Egyetem Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar Regionális Gazdaságtani és Vidékfejlesztési Intézetének professor emeritája, a Nemzeti Köszolgáltatási Egyetem egyetemi magántanára,
Dezső Tamás, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Bölcsészettudományi Kar volt dékánja, egyetemi docens,
Faragó István, az MTA doktora, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Matematikai Intézet Alkalmazott Analízis és Számításmatematikai Tanszék tanszékvezető egyetemi tanára,
Forró Lajos történész, újságíró, a Szegedi Tudományegyetem Juhász Gyula Pedagógusképző Karának oktatója, a TiszapART kulturális televízió főszerkesztője, a Délvidék Kutató Központ alelnöke, a Magyar–Szerb Akadémiai Vegyes Bizottság Magyar Tagozatának tagja,
Gabler Dénes Jenő, az MTA doktora, az MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont Régészeti Intézetének nyugalmazott tudományos tanácsadója,
Gácsi Zoltán, az MTA doktora, a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karának intézetigazgatója, egyetemi tanár,
Gergely Pál Széchenyi-díjas biokémikus, az MTA rendes tagja, a Debreceni Egyetem

Általános Orvostudományi Kar Orvosi Vegytani Intézetének egyetemi tanára,
Hadjiev Janaki Stanislavov, a Kaposvári Egyetem egyetemi docense, a Kaposvári Egyetem Egészségügyi Centrum Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézetének onkoradiológiai működéséért felelős szakmai alelnöke,
Náhlík András, a Nyugat-magyarországi Egyetem rektorhelyettese, egyetemi tanár,
Nyakas Csaba, az orvostudomány doktora, a Semmelweis Egyetem Testnevelési és Sporttudományi Kar Sporttudományi Kutatóintézetének professor emeritusa,
Oláh Attila, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Pedagógiai és Pszichológiai Kar Pszichológiai Intézet Személyiség- és Egészségpszichológiai Tanszékének egyetemi tanára,
Pálffy Géza, az MTA doktora, az MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont Történettudományi Intézetének tudományos tanácsadója, kutatócsoport-vezetője,
Szabó Béla, a Debreceni Egyetem Állam- és Jogtudományi Kar Jogtörténeti Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára,
Wacha Imre, az MTA Nyelvtudományi Intézetének volt munkatársa.

Magyar Érdemrend Lovagkereszt
polgári tagozat kitüntetést vehetett át

Bognár Béla, az ohioi Wright State University Departments of Social Work professor emeritusa,
Érsek Tibor, a mezőgazdasági tudomány doktora, a Nyugat-magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar Növénytermesztési Intézet Növényvédelmi Intézeti Tanszékének professor emeritusa,

Fazekas István, a Magyar Országos Levéltár Bécsi Magyar Levéltári Kirendeltségének volt főlevéltárosa, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Bölcsészettudományi Kar Történeti Intézetének egyetemi docense,
Hopp Béla, az MTA doktora, a Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Fizikus Tanszékcsoport Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára,
Hős Csaba, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Hidrodinamikai Rendszerek Tanszékének egyetemi docense,
Juhász Gábor, az MTA doktora, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Biológiai Intézet Proteomikai Csoportjának tudományos tanácsadója,
Kullmann László, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar Hidrodinamikai Rendszerek Tanszékének címzetes egyetemi tanára,
Lengyel Imre, az MTA doktora, a Szegedi Tudományegyetem Gazdaságtudományi Kar Közgazdaságtani és Gazdaságfejlesztési Intézetének vezetője, egyetemi tanár,
Molnár Katalin, a Nyugat-magyarországi Egyetem Benedek Elek Pedagógiai Kar Társadalom-, Szociális és Kommunikáció-tudományok Intézetének intézetigazgatója, a Szociálpedagógia Tanszék egyetemi docense,
Molnár Lajos, az MTA doktora, a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar Matematikai Intézet Analízis Tanszékének egyetemi tanára,
N. Szabó József, a Nyíregyházi Főiskola Társadalom- és Kultúratudományi Intézet Nemzetközi Kapcsolatok Intézeti Tanszékének professor emeritusa,

Reisinger Péter, a Nyugat-magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar Növénytermesztési Intézet Növényvédelmi Intézeti Tanszékének egyetemi tanára,
Scholz László, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Bölcsészettudományi Kar Spanyol Nyelvi és Irodalmi Tanszékének egyetemi tanára,
Simon János, a Rendszerváltás Történetét Kutató Intézet és Archivum tudományos tanácsadója, a Kodolányi János Főiskola Nemzetközi Tanulmányok és Történelem Intézeti Tanszékének egyetemi tanára,
Sudár Balázs, az MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont Történettudományi Intézetének tudományos főmunkatársa,
Szabolcs Éva, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Pedagógiai és Pszichológiai Kar Neveléstudományi Intézetének egyetemi tanára,
Szabóné Révész Piroska, az MTA doktora, a Szegedi Tudományegyetem Gyógyszer-tudományi Kar Gyógyszertechnológiai Intézetének vezetője, egyetemi tanár,
Szalay Tibor, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar Gyártástudomány és -technológia Tanszékének tanszékvezető egyetemi docense,
Somfai László Széchenyi-díjas és Erkel Ferenc-díjas zenetörténész,
Szentmártoni Szabó Géza irodalomtörténész, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Bölcsészettudományi Karának egyetemi oktatója,
Szepessy Tibor, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Bölcsészettudományi Karának nyugalmazott professzora,
Szörényiné Kukorelli Irén, az MTA doktora, az MTA Közgazdaság- és Regionális Tu-

dományi Kutatóközpont Regionális Kutatások Intézetének tudományos tanácsadója, a Széchenyi István Egyetem egyetemi tanára,

Tamás János, az MTA doktora, a Debreceni Egyetem Agrártudományi Központ Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Víz- és Környezetgazdálkodási Intézetének vezetője, egyetemi tanár,

Tóth Gábor, a kémiai tudomány doktora, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem nyugalmazott egyetemi tanára, a Semmelweis Egyetem és a Szegedi Tudományegyetem címzetes egyetemi tanára,

Tóth Imre, az MTA doktora, a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar Kémiai Intézet Szeretlen és Analitikai Kémiai Tanszékének egyetemi tanára,

Tóthné Szita Klára, a Miskolci Egyetem egyetemi tanára,

Vámos Ágnes, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Pedagógiai és Pszichológiai Kar Neveléstudományi Intézetének egyetemi tanára,

Vásáry István, az MTA levelező tagja, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Bölcsészettudományi Kar Orientalisztikai Intézet Török Filológiai Tanszékének professor emeritusa.

Magyar Arany Érdemkereszt
polgári tagozat kitüntetésben részesült

Bényei Attila Csaba, a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar Fizikai Kémiai Tanszékének egyetemi docense, a Debreceni Egyetem Kémia Intézet Röntgendiffrakciós Szerkezetvizsgáló Laboratóriumának vezetője,

Gulácsi Katalin, a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar Szerves Kémiai Tanszékének egyetemi adjunktusa,

Juhász Lajos, a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Természetvédelmi Állattani és Vadgazdálkodási Tanszékének tanszékvezető egyetemi docense,

Kovács Éva, a Magyar Tudományos Akadémia Bölcsészettudományi Kutatóközpont Történettudományi Intézetének tudományos főmunkatársa,

Szivák Judit, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Pedagógiai és Pszichológiai Kar Neveléstudományi Intézetének egyetemi docense,

Varga Pál, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kar Távközlési és Média-informatikai Tanszékének egyetemi docense,

Varga Zsuzsanna, a Szegedi Tudományegyetem Elméleti Fizikai Tanszékének egyetemi docense.

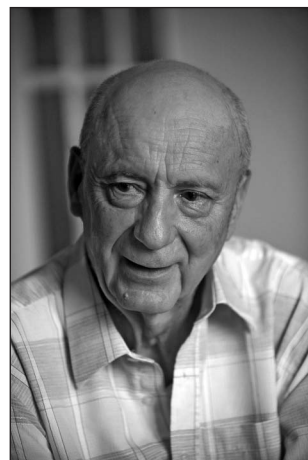
Megemlékezés

Az idei nyáron súlyos betegség érte a hazai humánkultúrát. 2015. augusztus 13-án elhunyt Poszler György Széchenyi-díjas akadémikus, esztéta, irodalomtörténész.

Humánkultúrát kell mondanunk, nem egyszerűen humántudományosságot. A magyar kultúra régivágású, manapság már egészen kivételesnek számító személyiségei közé tartozott, aki egyszerre és egymásról elválaszthatatlanul látszott tudósnak és művésznek. Meghatározó műfajának, az esszéisztikának

valódi művészi értéket teremtő művelője volt. Esszéiben elegáns egységbe olvadttárgyszerűség és személyesség: szigorúan tárgyyszerű gondolatmeneteik váratlanul vallomásos személyességgel voltak képesek megtelni, esszényelvét pedig utánozhatatlanul eredetivé avatta a prózanyelv artistikuma: a szaggatott tömondatok expresszivitása, az ellentétekből építkező szerkezet feszültsége, a magával ragadó gondolatrítmus.

Erdélyből indult: 1931-ben született Kolozsváron. Családjával együtt 1945-ben települ Budapestre, az első négy kolozsvári év után gimnáziumi tanulmányait már itt, Budapesten fejezi be. Balszerencsés generációhoz tartozik, egyetemi tanulmányai a legborúsabb évekre esnek, 1949 és 1953 között lesz



POSZLER GYÖRGY
1931–2015

a Pázmány Péter Tudományegyetem – ELTE hallgatója. Tanulmányait befejezve csaknem két évtizedig nem jut tudományos ambícióit érdemileg segítő álláshoz. Előbb középiskolai tanári munkára kényszerül: Mosonmagyaróvár, majd 1960-tól Szombathely mezőgazdasági technikumának lesz történelem- és magyartanára. Utóbb a közművelődés hivatalnokaként dolgozik: átmeneti tanítóképzőbeli oktatómunka után a 1964-től a Népművelési Intézet, 1968-tól a Művelődés-

ügyi Minisztérium munkatársa. Rá négy évre, 1972-ben köszönt be a szerencsés pályafordulat: az ELTE esztétika tanszékén esztétikáirodalomelméletet, a Színművészeti Főiskolán irodalomtörténetet kezd tanítani. 1983-ban lesz egyetemi tanár, 1982 és 1987 között az egyetem rektorhelyettese, 2001-től professor emeritusa. A tudományos ranglétrán fölfelé haladva 1971-ben az irodalomtudományok kandidátusa, 1982-ben nagydoktor, 1990-ben az Akadémia levelező, 1995-ben rendes tagja. Résztvevője számos akadémiai testületnek: 1991 és 1995 között a Tudományos Minősítő Bizottság tagja, 1996 és 1999 között a Nyelv- és Irodalomtudományi Bizottság elnökhelyettese, a Doktori Tanács póttagja. Munkásságának két legjelentősebb elismerése a Soros

Alapítvány életműdíja 1997-ből és a Széchenyi-díj 1998-ból.

A filológiai okadatolt irodalomtörténet-írás művelőjeként indul. Legelső könyveit talán élethosszig legkedvesebbként számon tartott hősről, Szerb Antaltól teszi közzé: előbb az író-esszéista indulását (*Szerb Antal pályakezdése*, 1965), utóbb teljes pályáját (*Szerb Antal*, 1973) földolgozva. Az esztétikai nevelésnek szentelt tanulmánykötetétől (*Katartizis és kultúra*, 1980) és a regényműfaj átalakulásának utána nyomozó esszégyűjteményétől (*A regény választásútjai*, 1980) egy irodalomelméleti válogatáson (*Kétségektől a lehetőségekig*, 1983) és egy – Szerb Antal mellett gondolkodása másik meghatározójának – Lukács Györgynek emléket állító gyűjteményen (*Az évszázad csapdái*, 1986) keresztül jut el teoretikus főművéig. Ez az akadémiai doktori értekezésésként is szolgáló nagymonográfia két, akkor már éppen divatjamúltnak számító bölcsele, Hegel és Lukács esztétikájának műfajelméletét összevetve voltaképp a filozófiai esztétika legitimitására kérdez rá (*Filozófia és műfajelmélet*, 1988). Az irodalomtörténettől az irodalomelméleten keresztül a filozófiai esztétikáig ívelő munkássága előbb, a nyolcvanas második felétől bizonytalanabban, utóbb, a kilencvenes évektől egyre határozottabban az irodalmi esszéisztika felé konvergál: a „tudománytól” az „irodalom” felé fordul tehát. Írásművészetében esszévé képes alakítani a hagyományos az esszé regisztere „fölött” és az esszé „alatt” jegyzett műfajban született írásokat egyaránt, a szaktanulmánytól a kritikán át a publicisztikáig. A pályafordulat áramában született gyűjteményeit itt most csak felsorolni tudjuk: *Eszmék – eszmények – nosztalgia* (1989), *Találkozások* (1992), *Vonzások és taszítások* (1994), *Fényjelek* (1995), *Dunavölgyi reálfantasztikum* (1998), *Ezredvégi pa-*

lackposta (2001), *Az angyal és a kard* (2003), *Ki ez a történelem?* (2003), *A „másik” város* (2005). A törekvés két legjelentősebb teljesítménye az életmű reprezentatív darabjaiból összeállított két, terjedelmileg is, gondolatilag is kiemelkedő, monumentális esszéválogatás, az *Ars poetica – ars teoretica* (2006) és *Az eltévedt lovas nyomában* (2008).

Hosszú alkotói pályáján az irodalomértés két nagyszabású szemléleti forradalmát is átélte: előbb, a 60–70-es években a strukturalista-formalista, utóbb, a 80–90-es években a posztstrukturalista-hermeneutikai esztétika és irodalomelmélet eredményeivel kellett szembesülnie. A forradalmak persze az ő gondolkodását sem hagyták érintetlenül, ám korántsem vált az új irányok buzgó követőjévé. A tanulságokat a maga, egyszerre a szellemtörténettől és a marxizmustól befolyásolt, történeti szemléletébe építette be. Ebben az értelemben a kezdetektől fogva máig Szerb Antal és Lukács György követője maradt: kedves monográfiához és inspiráló szellemi ösztönzője egyaránt arra tanították, hogy a műalkotás nem egyszerűen önmagában álló formai struktúra vagy a befogadó által tetszés szerint továbbértelmezhető szövegvilág. Nem: a mindenkori korszak szelleme és társadalma által befolyásolt jelenség.

Alkatilag valószínűleg affirmatív személység lett volna: az európai kultúra elkötelezett lokálpatriótájaként, a művészetek és az irodalom értékeinek szenvedélyes birtokba vevője és hűséges számon tartója, a korszak változásai azonban kritikus gondolkodóvá alakították. Fokozatosan „korszerűtlen elmékedővé”, a korszak imperatívuszainak keserű bírálójává vált. A felvilágosodás racionalitásfogalmának megkérdőjeleződése a progresszióhitét kezdte ki, a „nagy elbeszélések” ellehetetlenülését hirdető posztmodern a

történelemfogalmát provokálta, a humán-kultúra veszélyeztetetté válása a kultúrfilozófiai értékszemlélete ellen indított támadást. Az utolsó években nem csupán elhatalmasodó betegségével kellett megküzdenie: az ország politikai átalakulása is kedvetlenné tette. Közéleti ismerői megerősíthetik: kevesen vannak, akik nálánál fájdalmasabban éltek meg a harmadik magyar köztársaság bukását. Távol állt tőle a közvetlen politikai szerepvállalás, nem ohajtott a direkt közéleti publicisztika művelőjévé válni. Legutolsó kötete, a 2011-es *Az elszabadult hajóágyú* főhősei, Goethe büvésszínasa, Thomas Mann Cipollája meg Victor Hugo „elszabadult hajóágyúja” azon-

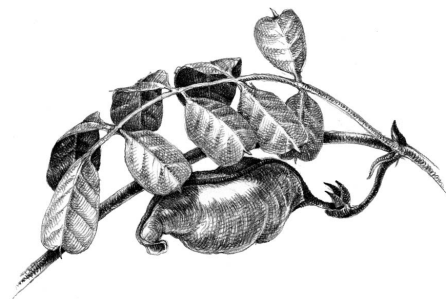
ban nem hagynak kétséget felőle: a mesék bizony éppen rólunk szólnak.

Távaly télen az irodalmi portál terjedelmes életútinterjút készített vele. Az életpályáját és a munkásságát egyaránt áttekintő izgalmas beszélgetésben beszámolt róla, hogy néhány nagyesszé tervez még, amelyekben elmesélné, végül is miért kellett neki úgy élnie, ahogy élt. A sors viszont nem volt kegyes hozzá, ezek a mesteresszéi már nem születhetnek meg. Nekünk, hűséges olvasóinak is mély bánatunkra.

Percz László

az MTA doktora, filozófiai történész

(A kép forrása: www.nol.hu)



Kitekintés

A TÚLEVÉS BIOKÉMIÁJA

Az elhízás világszerte óriási egészségügyi problémát jelent, hiszen megnöveli a cukorbetegség, a szív- és érrendszeri kórképek, sőt bizonyos rákbetegségek kialakulásának kockázatát.

Amerikai kutatók (Temple University, Philadelphia) hat önkéntes férfi „tünetelésével” vizsgálták, hogy milyen mechanizmussal alakul ki az elhízás egyik pusztító következménye, az inzulinrezisztencia. Evéskor a vér cukorszintje megnő, és a szervezet azt inzulin termelésével és felhasználásával normális szintre állítja vissza. Az inzulinrezisztencia azt jelenti, hogy a sejtek nem képesek a hormont hasznosítani, ezért a vércukorszint nem tud megfelelően csökkenni. A magas vércukorszint pusztítja az ereket, így tönkretetheti a vesét, károsíthatja a szemet, a szívet, az agyat.

Guenther Bodeb és Salim Merall önkéntesei egy hetet kórházban töltöttek, ahol napi hatezer kalóriát – a szükséglet majdnem két és félszeresét – kellett elfogyasztaniuk pizza, hamburger és hasonló formájában. A kísérleti személyek gyakorlatilag ágyhoz kötve töltötték napjaikat; átlagosan három és fél kg-t híztak. Gyakorlatilag mindegyikükön két nap alatt inzulinrezisztencia alakult ki.

A kutatók keresték a bűnösöket. Megállapították, hogy a résztvevők a vizeletükben egyre nagyobb mennyiségű oxidált lipidvegyületeket ürítenek, amely az oxidatív stressz jele: a túlzott táplálékbevitel eredményeképp a szervezetben túl sok oxigén szabadgyök keletkezett, amely eloxidált bizonyos zsírmole-

kulákat. Az önkéntesek zsírszövetéből biopsziával mintát is vettek, és a megvizsgált zsírszövet is mutatta az oxidatív stressz jeleit.

Megállapították továbbá, hogy a túl sok szabad oxigén szabadgyökök megváltoztatta a vér egyik cukorszállító molekulájának szerkezetét, amely ezáltal nem volt képes feladata ellátására. A GLUT4-transzporter hiába kapott parancsot az inzulintól a glukóz elszállítására, megváltozott szerkezete miatt azt nem tudta végrehajtani.

A kutatók úgy vélik, alapvető mechanizmusokat fedeztek fel az inzulinrezisztencia, illetve a 2-es típusú cukorbetegség kialakulásának kezdeti lépéseivel kapcsolatban, amelyek a folyamatok részletesebb megismerésével új terápiás lehetőségeket kínálnak.

A szakemberek most azon dolgoznak, hogy a hat önkéntes visszanyerje korábbi súlyát és egészségét.

Boden, Guenther – Homko, Carol – Barro, Carlos A. et al.: Excessive Caloric Intake Acutely Causes Oxidative Stress, GLUT4 Carbonylation, and Insulin Resistance in Healthy Men. *Science Translational Medicine*. 9 Sep 2015. 7, 304, 304re7. DOI: 10.1126/scitranslmed.aac4765

AMIKOR AZ ELEKTRONOK IS ÖSSZÉBB HÚZÓDNAK

Széles körű nemzetközi kutatói együttműködés eredményeként megállapították, hogy az ozmium extrém magas nyomáson különleges állapotba kerül, aminek oka a belső elektron-

pályákon lévő elektronok között kialakuló kölcsönhatás. Az ozmium nemesfém, a legnagyobb sűrűségű elem, olvadáspontja 3000 Celsius fok fölött van, az egyik legkevésbé összenyomható anyag, keménysége közelíti a gyémántét.

Német, francia, svéd, holland, amerikai és orosz kutatóintézetek munkatársai dolgoztak abban a programban, amelyben ezt a szinte összenyomhatatlan anyagot sikerült annyira összepréselni, hogy a mérhető tulajdonságok változása jelezte a belső elektronok között létrejövő kölcsönhatást. Ennek a jelenségnek a lehetőségét elméleti úton már korábban megjósolták.

A kísérletekben 770 gigapascal értékig növelték a nyomást. Ez a Föld középpontjában levőnek kétszerese, a földfelszínen lévő légköri nyomásnál pedig több mint hétmilliószor nagyobb. Az ozmium 440 gigapascal nyomáson kezdett különleges viselkedést mutatni.

Dubrovinsky, L. – Dubrovinskaja, N. – Bykova, E. et al.: The Most Incompressible Metal Osmium at Static Pressures above 750 Gigapascals. *Nature*. 10 September 2015. 525, 226–229. DOI:10.1038/nature14681

DIAGNOSZTIKAI CHIP-LABORATÓRIUM

Az egészségügyi diagnosztikában használatos laboratóriumi vizsgálatok költségeit csökkentheti az a 32 csatornás mikrofluidikai technológiát alkalmazó berendezés, amelyet az amerikai Rutgers Egyetem kutatói fejlesztettek ki.

A klinikai vizsgálatok mellett a biológiai kutatásokban is gyakran alkalmazott antitest-antigén reakciókon alapuló analitikai eljárások vegyszerköltsége általában magas. A mi-

niatúr készülék a hagyományos tesztekhez szükséges minták mennyiségének tizedéből, és ami ugyancsak lényeges, tizedannyi reagens felhasználásával, jórészt automatikusan, emberi beavatkozás nélkül képes összetett vizsgálatokat elvégezni.

A most megjelent közleményben leírt demonstrációs kísérlet során hat fehérjét határoztak meg párhuzamosan harminckét különböző mintából, amelyek térfogata mindössze 4,2 mikroliter volt. Az eredmények pontossága megegyezett a hagyományos vizsgálatok során elért pontossággal.

Ghodbane, Mehdi – Stucky, Elizabeth C. – Maguire, Tim J. et al.: Development and Validation of a Microfluidic Immunoassay Capable of Multiplexing Parallel Samples in Microliter Volumes. *Lab on a Chip*. 2015, 15, 3211–3221. DOI: 10.1039/C5LC00398A

NYÍLT HOZZÁFÉRÉSŰ KUTATÁSI ESZKÖZÖK

Nyílt hozzáférésű, ingyenes laboratóriumi berendezések terveivel kellene a közpénzekből finanszírozott kutatókat és a kutatásokat segíteni ahelyett, hogy nagy összegeket fordítanak a gyorsan elavuló eszközök pótlására – javasolja most megjelent tanulmányában a Michigan Technological University kutatója.

A tipikusan kis szériában készülő kutatási célú berendezések gyorsan kiöregszenek, így érthetően sokba kerül egy versenyképes laboratórium fenntartása. A befektetett pénz sokkal hamarabb megtérülne a közösség számára, ha inkább szabadon felhasználható eszközök folyamatos fejlesztésére fordítanák.

A szerző esettanulmányt is mellékel az ötlet létjogosultságának alátámasztására. A folyadékok precíz adagolására használatos fecskendő-pumpa digitális gyártását lehetővé

tevő CAD-szoftver nyíltá tétele után tíz hónap alatt több mint ezer letöltést regisztrált. Egy fecskendőpumpa piaci ára és a közzétett dokumentáció alapján történő saját gyártás költségeit összevetve, s a különbséget a letöltesek számával megszorozva, az jött ki, hogy a megtakarítás 460 és 12 ezer % között lehet.

Pearce, Joshua M.: Return on Investment for Open Source Scientific Hardware Development. *Science and Public Policy*. First published online: 20 June 2015. DOI: 10.1093/scipol/scv034

TAKARÉKOS EMBERI SZERVEZET

Az emberi idegrendszer a minél kisebb energiafelhasználás érdekében folyamatosan optimalizálja a mozgásokat. Ezt a megállapítást kanadai kutatók a gyaloglás energiaszükségletének tanulmányozása során tették, de feltehetően más mozgástípusokra is érvényes.

A kísérleti alanyok minimális energiaszükséglet érdekében is változtattak mozgásaikon vagy akár egész járásmódjukat megváltoztatták. A résztvevőknek egy rájuk erősített robotvázszerkezetben kellett gyalogolniuk. Az eszköz lehetővé tette, hogy a hagyományos, beidegződött mozgásokat vagy azok egyes fázisait megnehezítsék. Így lényegében azt modellezték, hogy miképpen reagál az emberi szervezet egy olyan helyzetre, amelyben a megszokottól eltérő szabályok érvényesek. Az evolúció során kialakult mozgásformák hogyan változnak, ha hirtelen megváltoznak a körülmények.

Az eredmények azt mutatják, hogy adott körülmények között az emberi szervezet rendkívül gyorsan, néhány perc alatt megtalálja a minimális energiafelhasználáshoz tar-

tozó mozgásformát. Ennek a képességnek az érzékenysége is meglepően jó: ötszázaléknyi energiacsökkentés érdekében már átalakul a mozgás.

Selinger, Jessica C. – O'Connor, Shawn M. – Wong, Jeremy D. – Donelan, J. Maxwell: Humans Can Continuously Optimize Energetic Cost During Walking. *Current Biology*. In Press, available online 10 September 2015. DOI: 10.1016/j.cub.2015.08.016 • [http://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-9822\(15\)00958-6.pdf](http://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-9822(15)00958-6.pdf)

AZ ÖSSZEDÖRGÖLŐZÉS MODELLJE

A rágcsálókölykök hidegben összebújnak, melegben távol helyezkednek el egymástól, megfelelő hőmérséklet esetén pedig a csoport közepén lévő melegebb és a szélein lévő hidegebb területek között ingáznak.

Ezt a komplex hőmérsékletszabályozó viselkedést modellezték a University of Sheffield kutatói úgy, hogy az egész csoportot egy olyan szuperorganizmusként kezelték, amely a hőleadás optimalizálása érdekében képes változtatni az alakját.

A kutatások távlati célja, hogy az ilyen önszerveződő, önszabályozó rendszerek leírására készült modelleket robotok közötti együttműködés kialakításához, szabályozásához használják fel.

Glancy, Jonathan – Gross, Roderich – Stone, James V. – Wilson, Stuart P.: A Self-organising Model of Thermoregulatory Huddling. *PLOS Computational Biology*. Published: 3 September 2015. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1004283 • <http://journals.plos.org/ploscompbiol/article?id=10.1371/journal.pcbi.1004283>

A HIV EGY EDDIG ISMERETLEN MÓDSZERREL IS GYILKOL

Nincs még egy vírus, amelyet annyira jól ismernének a kutatók, mint az AIDS-betegséget okozó HIV-et. Most amerikai kutatók (Gladstone Institutes, San Francisco) mégis azt állítják: eddig ismeretlen mechanizmust fedeztek fel a vírus terjedésével kapcsolatban.

Az eddigi ismeretek szerint a vérben keringő AIDS-vírusok behatolnak bizonyos fehérvérsejtekbe, amelyekkel megsokszoroztatják saját magukat. Az új víruskópiák kiáramlanak a sejtekből, melyek elpusztulnak. Az újabb vírusok újabb fehérvérsejteket támadnak meg.

Warner Greene és munkatársai azt állítják: létezik egy ennél több százszor hatékonyabb

mechanizmus a vírus terjedésére. Az egyik fehérvérsejtben megtermelődött vírusrészecskék kvázi átpumpálódnak egy másikba. A kutatók szerint az érintett CD4-fehérvérsejtek 95%-a e mechanizmus miatt pusztul el.

A felfedezés bizonyos mértékig magyarázatot ad az AIDS-elleni oltóanyag fejlesztésének eddigi kudarcaira és a vakcinakutatásban talán új lehetőségekkel kecsegtet. Ugyanígy a HIV-elleni gyógyszeres terápiában is hozhat változásokat.

Galloway, Nicole L. K. – Doitsh, Gilad – Monroe, Kathryn M.: Cell-to-Cell Transmission of HIV-1 Is Required to Trigger Pyroptotic Death of Lymphoid-Tissue-Derived CD4 T Cells. *Cell Reports*. 12, 10, 1555–1563. DOI: 10.1016/j.celrep.2015.08.011

Gimes Júlia



Könyvszemle

Mit nyújt ma egy magyar város?

A fenti kérdés a *Gyűrűk és sugarak* kötet alcímeként fogalmazódott meg Horváth M. Tamás és Bartha Ildikó szerkesztőkben, miközben „cseppben a tenger” módszerrel vizsgálták a magyar települések átalakulófélben lévő közigazgatási feladatellátási és közszolgáltatási kereteit – mégpedig Hajdúböszörmény városa esetén keresztül. (A kutatást a Magyar Tudományos Akadémia és a Debreceni Egyetem Állam- és Jogtudományi Karának közös *MTA–DE Közszolgáltatási Kutatócsoportja* végezte a *Helyi közszolgáltatások szabályozásai* című nagyobb projekt [2012–2016] keretében. A kötet lezárása után a kutatás folytatólagosan karbantartott adatbankja elérhető az interneten, felhasználónév, jelszó és elérhetőség igényelhető a kutatócsoporttól.) A könyv egy hosszú kutatómunka negyedik állomása, amelyben immár az említett gyökeresnek tűnő változások következményeit igyekeztek a tanulmánykötet szerzői „ténymegállapító célzatú” esettanulmányok sorával bemutatni (egészen pontosan tizenhat elemzést tartalmaz a kötet). Az alábbiakban igyekszem rekonstruálni a könyv által felszínre hozott legfontosabb eredményeket, megállapításokat, különös tekintettel a települési önkormányzatok közszolgáltatás-szervezési kereteiben lezajlott változásokra, valamint előljáróban szeretném kiegészíteni ezeket egy – a témához szorosan kapcsolódó – elmélet-történeti kitekintéssel is.

A könyv címe a hajdúvárosoknak a településföldrajz által jól ismert sugaras-gyűrűs szerkezetére utal, és a kötet ennek a struktúrájának megfelelően három nagy fejezetbe szervezi a város működését analizáló írásokat. Ahogyan Hajdúböszörmény főteréről, a központtól elindulunk kifelé a városból, a girbegurba utcácskák, „kitérők” során át gyakran futhatunk zsákutcákba, „zugokba”, s az utcák labirintusából kijutva a város egybefüggő belterületéhez közvetlenül már nem tartozó régi tanyaközpontok és betelepült zártkertek közé kerülünk, úgy bomlik ki az olvasó előtt a részben a helyi viszonyok, ám mindenekelőtt a külső hatások által determinált közszolgáltatások és szolgáltatásszervezési módok helyi rendszere. Az első fejezet, mely a *Vállalati körök* címet viseli, a közszolgáltatások biztosításában kulcsfontosságú gazdasági-pénzügyi vonatkozások változását az önkormányzati tulajdonú gazdasági társaságok megjelenésén, illetve az ezeket integráló ernyőszervezet (holding) kialakításán keresztül tárgyalja. Ennek kapcsán feltétlenül szükséges egy kitérőt tennünk a közszolgáltatások szervezésének közelmúltja felé. Míg a rendszerváltás után még a *racionalis állam weberi modellje* mentén működött a magyar közigazgatás és közfeladat-ellátás rendszere, addig az ezredforduló környékére a menedzserszemlélet és az alternatív szolgáltatás-szervezési módok beszivárogtak az állami és az önkormányzati szférába, bár ezek nem társultak az átláthatóság, a nyitottság és az elszámoltathatóság kri-

tériumaival. A neoliberalizmus gazdaságfilozófiája által támogatott *új közmenedzsment* (NPM – *New Public Management*) akkor fejtette ki leginkább a hatását Magyarországon, amikor annak hulláma már az „élenjáró” nyugat-európai és angolszász országokban elakadt, sőt visszahúzódóban volt, s a teoretikusok egy része már meghaladott, „poszt”-irányzatként aposztrofálta. Mindenesetre ez a szemlélet az államot kevésbé hatékony szereplőnek tekintette a piaccal szemben, ezért az állami finanszírozás csökkentését és a magántőke bevonását proponálta, valamint a vállalkozói attitűdöket kívánta meghonosítani a közszolgáltatások megszervezése terén. Így az állam számos végrehajtó kompetenciát ruházott át magáncégekre, amelyekről az állandóan szűkülő források miatt költséghatékonyságot várt; ez a várakozás azonban mind a mai napig nem igazolódott meggyőzően. Egy sor állami és önkormányzati szolgáltatást piaci módon szerveztek meg, és egyszerre kérték számon rajtuk a költségek csökkentését és a hatékonyság növelését. Ugyanakkor azonban szinte csak olyan területek vagy részterületek privatizálására vagy kiszervezésére került sor, amelyeket jó haszonnal lehet működtetni, így az államnak olyan területeken maradtak meg a kötelezettségei, amelyek kevésbé voltak vonzóak a piac számára. A privatizáció elsődleges következményeként az állami és önkormányzati közszolgáltatások körének állandó csökkenésével párhuzamosan a magánszféra szereplői igyekeztek kisajátítani a fizetőképes keresletet szolgáltatásaik számára. Az állami szféra által el látottak így azok lettek, akik a magánszféra szolgáltatásait nem voltak képesek megfizetni. A fő gond az, hogy ekként az állami szolgáltatások színvonala folyamatosan csökkent, és annak javítására alig maradt remény, lévén e

szolgáltatások igénybevevői azok a legszegényebb rétegek voltak, amelyek nem jutottak megfelelő politikai képviselőhöz, és így nem tudtak megfelelő nyomást gyakorolni a döntéshozókra. A szolgáltatást végző magáncégek képviselői jóval aktívabbnak bizonyultak, és jóval hatékonyabb eszközökkel rendelkeztek az érdekvérvényesítés terén, mint az említett állampolgárok, akiknek így joggal lehetett az az érzésük, hogy a politikai döntéseket a fejük fölött, egészen pontosan egy demokratikus díszlet mögött hozzák meg, amelynek ők maguk egyszerű legitimálói, rosszabb esetben pusztán ornamensei lehettek csupán. A széles felelősség alapján adott külső felhatalmazások és megbízások kellő kontroll nélküliek maradtak, s így óhatatlanul összekeveredtek a közösségi és a magándöntések. A fentebb jelzett demokratikus deficit mellett ekként megjelent a korrupció is. Míg Nyugat-Európában már a kilencvenes évek közepén-végén felerősödtek az NPM-reformok által okozott károkkal kapcsolatos kritikák, addig ez Magyarországon majd tíz esztendő várattatott magára. A nyugati országokban már jóval a 2008. évi ingatlanhitelezési és bankválságot megelőzően bekövetkezett mind a menedzserszerműködés, mind pedig a közszolgáltatások megszervezése terén a *neotechnokrata* fordulat. A *digitális korszak kormányzásának* (DEG – *Digital-era Governance*) is nevezett szakaszt kevésbé jellemzi a vállalkozói szellem uralma, mint inkább az individualista, piaci jellegű menedzseri felelősségi körök, az átláthatóság, az elszámoltathatóság, a fokozott állami ellenőrzés, illetve a szakértők politikában való felbukkanása és befolyásuk folyamatos növekedése. Hazánkban ez az irányzat az utóbbi négy-öt esztendőben nyert teret, mindemellett a magyar viszonyokat sokkal inkább egy hibrid berendezkedés jellemzi.

Nos, visszatérve a témánkhoz, a Hajdúböszörményi Vagyongkezelő Zrt. irányítása mellett 2012 elején létrejött holding („törzsház-konzern”) kebelébe nyolc 100%-ig önkormányzati tulajdonú céget apportáltak. Ezek a cégek az átszervezések révén alkalmassá váltak a projektszemléletű működésre, a pályázati lehetőségek kiaknázására és az új önkormányzati befektetések feltételeinek megteremtésére, vagyis ilyen módon sikerült a cégformában rejlő gazdasági és pénzügyi előnyöket kihasználni. Ekképp a helyi szintű közszolgáltatások ellátása három intézményi konstrukcióban történik: a.) részben vagy egészben önkormányzati tulajdonú gazdasági társaságok útján (ezek 2006 előtt önálló költségvetési intézményként működtek), és ezeket a társaságokat egyesítette ernyőszervezetként a vagyongkezelő cég 2012-től. Ezen holding hatáskörébe kerültek a korábban kistérségi integrációba szervezett feladatkörök is (hulladékgazdálkodás, víziközmű-szolgáltatás); b.) helyi/települési költségvetési szerveken keresztül (egyprofilú, általános profilú és összevont szervek); c. állami/központi költségvetési szervek segítségével (megyei kormányhivatal, járási hivatal, KLIK). A humán közszolgáltatások hierarchiájának csúcsán álló kulturális szolgáltatásokat 2007 szeptember óta alapvetően a Szabadhajdú Nonprofit Kft. látja el, amely kilenc üzletággal működik. Emellett egy igen aktív civil szektor és egy marginálisan jelenlévő magánszektor jellemzi ezt a szolgáltatási ágazatot. A kultúra vonatkozásában a három említett aktorcsoporthatásuk sikeresen birkózik meg a településszerkezet egyenetlenségeinek kezelésével. A konvergáló folyamatok az egészségügyi ellátások terén is megjelentek az utóbbi évtizedekben, s e téren az önkormányzatok súlyának növekedését hozták magukkal. A kilencvenes évek

funkcionális privatizációja nyomán előállt helyzettel küszködve, mostanság a feladatellátásra is elégtelen OEP-finanszírozás mellett az önkormányzatok anyagi kondíciói határolják be, hogy mennyi pénzt tudnak az ellátások fenntartására fordítani. A többféle ellátással bíró települések, mint Hajdúböszörmény is, arra törekcsenek, hogy a rendelkezésre álló adottságok és lehetőségek mentén integrálják, centralizálják és municipalizálják ezeket a közszolgáltatásokat. A helyi önkormányzati pénzügyek vitele és a gazdálkodás terén – akárcsak a humán szolgáltatások esetében – az elmúlt négy-öt évben általánossá vált a kiábrándulás a piaci megoldásokból, közvetlenebb az állami részvétel, megnőtt a központi politikai függés és az adminisztratív elszámoltathatóság jelentősége. Elsősorban a köznevelés rendszerének és finanszírozásának átrendezésével, recentralizációjával Hajdúböszörmény éves bevételei majd kétharmadukkal (egészen pontosan 62%-kal) csökkentek 2011 és 2014 között. Az így lecsökkent költségvetés, a zsugorodó helyi autonómia és pénzügyi-gazdálkodási önállóság – amint azt fentebb láthattuk – más eszközök alkalmazására kényszeríti az önkormányzatokat. A *Kifordulók* címet viselő második fejezet az intézményi szociális szolgáltatásokat, a szegregációs problémákat és azok kezelését, a testület kezében maradt feladatellátást, valamint a hatósági szolgáltatások helyzetének átalakulásán túl az oktatási rendszer recentralizációjának hatásait és a Debreceni Egyetem hajdúböszörményi karának a helyi feladatellátásba való bekapcsolódását mutatja be. A köznevelés országos rendszerének központosítása része annak a politikai programnak, amely a közszektorban újfajta elszámoltatási viszonyokat kíván teremteni. Célja a rendszer hatékony működtetése, a minőség egysége-

sítése, a felzárkóztatás és a gazdasági-társadalmi fejlődést támogató szakképzés kialakítása. Eszközei: az állami működtetésbe vétel (KLIK, tankerületek), a kiadások visszafogása (szektorálisan a GDP arányában történt ráfordítás a 2010-es 3,6%-ról 2013-ban 2,3%-ra csökkent), a pedagógus életpályamodell bevezetése (központi bérfinanszírozással és bérrendezéssel), a duális képzés alkalmazása a szakképzésben. Valószínűsíthető azonban, hogy a fenti célokat egyáltalán nem vagy csak részben éri el az oktatási kormányzat. Az egyetemi kar bevonása a helyi feladatok ellátásába csak részben sikerült. Kulturális és köznevelési téren olajozott az együttműködés, az emberi erőforrás-fejlesztés, a romák felzárkóztatása tekintetében is vannak eredmények, ám a kar városi kormányzásba való bekapcsolódása és a közös pályázati projektek megvalósítása kapcsán némi hiányérzetünk támadhat. A harmadik fejezetből – *Nyalábok és zugok* –

Krízis és növekedés az Európai Unióban

A második világháború után – igaz, mélyre zuhant bázisról – tartósan gyors növekedést mutatott fel kontinensünk politikai értelemben vett nyugati fele, megtámogatva a Marshall-tervben rendelkezésre bocsátott pénzügyi erőforrásokkal; ez volt a német, francia, olasz gazdasági csoda korszaka. Ekkor még a szovjet érdekszférába bevont országok is gyors újjáépítési növekedést produkáltak, de a kelet-európai gazdasági modell hamar elérte teljessítőképessége valódi határait, míg a gazdasági integrációt felépítő nyugati demokráciák az újjáépítési szakasz lezárultával is gyors fejlődésre lettek képesek. Ez azonban a múlt: az utóbbi években az immár kibővült Európai Unióban gyengélkedik a növekedés. Ám *Hal-*

az egyházak, a civil szervezetek közszolgáltatásokban betöltött szerepéről, a köztemetők üzemeltetéséről, a közrend-közbiztonság helyzetéről és a lokális gyermekvédelmi hálóról kaphatunk részletes és pontos képet.

Az olvasó számára úgy tűnik tehát, hogy a helyi közszolgáltatás-szervezés rendjét erőteljesen megváltoztató folyamatokat vizslató – az egyetemi oktatók, a kutatók és a gyakorlati szakemberek által elvégzett – empirikus kutatás arra jutott, hogy az önkormányzati feladatelvonás, az igazgatási szintek közötti felelősségmegosztás új rendszerében – ha nehezen is –, Hajdúböszörmény megtalálta a maga *modus vivendijét*. (Horváth M. Tamás – Bartha Ildikó szerkesztők: *Gyűrűk és sugarak. Mit nyújt egy magyar város? Budapest–Pécs: Dialóg Campus Kiadó, 2014, 344 p.*)

Pénzes Ferenc

egyetemi adjunktus,

Debreceni Egyetem Állam- és Jogtudományi Kar

mai Péternek az Akadémiai Kiadónál 2014-ben kiadott könyvének címével ellentétben az Európai Unió nincs krízisben, azaz folytathatatlant rendkívüli helyzetben. Nem is ez a mű központi témája, hanem az a fejlemény, hogy az európai integráció országainak többségében mélyre esett a gazdaság *természetes*, avagy *potenciális* növekedési képessége.

A potenciális kibocsátás és annak növekedése a makrogazdasági értelemben fenntartható, tehát inflációt nem gerjesztő és a munkanélküliségi rátát annak természetes mértékén megtartó hipotetikus pályára vonatkozik. Mint ilyen, eltér a tényleges GDP-szinttől és annak aktuális változásától, vagyis minden pillanatban kisebb-nagyobb rés áll fent az aktuális kibocsátási szint és a számított potenciális szint között (*output gap*). A tényleges növekedési adatok mögött ugyanis mindig

megtalálhatók egyedi tényezők, ciklikus hatások, akár gazdaságpolitikai beavatkozások, amelyeket ökonometriai módszerekkel kiszűrve juthatunk el ehhez a bizonyos potenciálhoz.

Halmi Péter elemzésének középpontjában az a jelenség áll, hogy a 2008-as gazdasági-pénzügyi válságot követően az európai potenciális növekedés üteme megtört, és a válság lezárultával sem állt vissza az eredeti pályára. Ez bizony komoly eltérés a világ más térségeihez, különösen pedig Európa hagyományos viszonyítási pontját, utolérési célját jelentő Egyesült Államokhoz képest: az amerikai gazdaság is recesszióba került 2007 után, de előbb tért vissza a gazdasági teljesítmény a krízis előtti szintre, potenciális növekedési üteme is csaknem teljesen helyreállni látszik. Ezzel szemben Európában – elég széles országokénti szóródást mutatva – gyenge maradt a konjunktúra, és a hosszabb távú előrejelzések szerint tartósulhat a stagnálásközi állapot.

A szerző a saját modellszámításainak bemutatása és elemzése előtt alapos áttekintést ad a gazdasági növekedési elméletek klasszikusainak és továbbfejlesztőinek eredményeiről. Különösen azokat emeli ki, amelyek a nemzetgazdaságok induló fejlettségi (jövedelmi) állapotában meglevő különbségek mérésére, azaz a *konvergenciára* vonatkoznak. A korábbi elméletek (és a köznapi gondolkodás) alapján az várható, hogy a kevésbé fejlett gazdaságok az előttiük járóknál gyorsabban növekednek, vagyis különösebb előfeltételek nélkül is bekövetkezik a konvergencia. Volt is erre számos példa, hiszen a fejlettebb, gazdagabb országokból beáramló tőke és az onnan átvethető, lemásolható technológia gyorsíthat a fejletlenebb gazdaság növekedésén. Ám a világban mégsem tűnt el a fejlettségbeli különbség, sőt a konvergencia helyébe néha divergencia lép.

Az itt bemutatott adatok alapján kimondható, hogy az európai integrációba belépő gazdaságok zöme sokat profitált a közös piacból, majd később az Unióból. Izgalmas kontrafaktuális (azaz a bekövetkező tényekkel ellentétes, a „*mi lett volna, ha nem lépnek be*” szcenáriót feltételező) becslő módszerrel megállapítható, hogy Írország, Lengyelország, a három balti ország tartósan és nagymértékben nyert a tagságból. Hazánk is élvezett bizonyos növekedési és termelékenységi többletet. Kisebbség, de még mindig pozitív hatás mutatható ki a csehek esetén, míg Görögország esetében nem segített a tagság. A lényeges különbségek nyilván az eltérő nemzeti gazdaságpolitikákkal is összefüggnek: a görög kormányok populista, felelőtlen politikái mellett nem nagy meglepetés a felzárkózás elmaradása.

Egészében véve azonban jól működött a 20. század közepén kialakuló európai növekedési modell, amely a nagyfokú külkereskedelmi nyitottság, a pénzügyi integrálódás, a technológia adaptáción is alapuló gyors termelékenység-növekedés pillérjein nyugodott. Azonban ez a modell kimerítette lehetőségeit, Európa immár nem képes konvergálni a rugalmasabb amerikai gazdasághoz. Átmeneti népességnövekedést követően hamarosan csökken a népességszám (nagy országokénti eltérések mellett), és a gazdasági növekedés többi magyarázó tényezőjének alakulása is a potenciális növekedés tartós gyengeségét vetíti elő. A szerző nem részletezi számításait a magyar esetet, de az látható, hogy mi az új tagállamok csoportján belül a „sebezhető” alcsoportjába tartozunk Bulgáriával, Romániával és (talán) Szlovéniával együtt. Ebben az alcsoportban a térség szempontjából min-tának, *benchmarknak* tekintett fejlett nyugat-európai országokhoz való közebb kerülésnek gyengék az esélyei.

Meglehetősen borús ez a kép. Ahogy a szerző fogalmaz: „A magyar növekedési potenciál már a válság előtt, az EU-csatlakozás után csökkenésnek indult, s megfeleződött. A krízis kitörése után tovább csökkent, majd három éven át gyakorlatilag megszűnt. Annak dinamikája csak 2016-ban éri el az 1%-ot. Minthogy a kibocsátási rés negatív előjelű, az aktuális növekedés dinamikája átmenetileg magasabb lehet a jelzett ütemnél. Ám fenn tartható, dinamikus növekedési pálya csak a potenciális növekedés ütemét tartósan növelő strukturális reformok révén lehet elérhető” (201.). Az idézett részből kiolvasható a válasz az olvasóban nyilván felmerülő kérdésre: az egy százalék alatti természetes növekedési ütemet kihozó modellel miként fér meg a 2014-es év örömtelen magas, csaknem négyszázalékos tényleges GDP-növekedése? Nos, mindaddig, amíg a kibocsátási rés negatív, azaz a gazdaság keresleti vagy más egyéb okok miatt a meglevő lehetőségei alatt teljesít, mód nyílik a természetes ütemet meghaladó növekedésre. Esetünkben úgy 2016-ra szűnik meg a képességszintünkől való elmaradás, és onnantól fenntartható módon (például újabb eladósodást vagy inflációs élénkítést nem vállalva) csak 1% körül nőhet gazdaságunk.

Hacsak nem valósulnak meg a növekedési képességet megnövelő strukturális reformok. Az utóbbiak mibenlétét azonban nem fejt ki a szerző, ahogy az utóbbi időszak gazdaságpolitikai gyakorlatát sem értékeli. A számokból azonban látszik, hogy a tőkeállomány, a munkaállomány és az endogén növekedési tényezők közé sorolható intézményi tényezők (jogbiztonság, transzparencia, korrupcióveszély, az erőforrások allokációjának ésszerűsége) terén hazánk jelentős lemaradásba került néhány más új tagországgal szemben. Térségünkben mások már eddig is komoly konvergenciateljesítményt értek el a fejlettebb nyugati társadalmakhoz viszonyítva, és hosszú távú kilátásaik is jobbakk. A magyar vonatkozás a műben alapvetően az európai dilemmák részeként jelenik meg, így hazai teendőink kifejtését nem is kérhetjük számon a szerzőn, aki így is vastag művet tett le az olvasó elé. A benne foglalt tényanyag és a bemutatott projekció továbbgondolásra szorítja az olvasót. (*Halmi Péter: Krízis és növekedés az Európai Unióban. Európai modell, strukturális reformok. Budapest: Akadémiai Kiadó, 2014. 370 p.*)

Bod Péter Ákos

DSC, tanszékvezető egyetemi tanár
Budapesti Corvinus Egyetem

Levél a szerkesztőnek Kende Péter könyvéről

Kedves Sipos Júlia! Ön arra kért engem, hogy írjak ismertetőt Kende Péter: *Magyarság, zsidóság, emberiség* című, a Kalligram Kiadónál idén tavasszal megjelent könyvéről. Ez a kötet a szerző magyar nyelvű munkásságából válogatott életműsorozat befejező darabja, s indokoltnak tűnik ezt együttesen figyelembe venni. (Még 2013–14-ben *A kommunizmus és*

a magyar társadalom; Államiság a kommunizmus után; Nemzetek és népek Kelet-Európában) A megjelent négy kötet esszéi taglalják a kapitalizmus, a szocializmus, a magyar történelem, Kelet-Európa, az államiság, a köztársaságosság, magyarság, zsidóság, és még számos politikai eszme és tapasztalat feszítő kérdéseit. A hosszú évtizedek során született, kritikusan újraolvasott és jelzetten korrigált szövegeket áthatja a párizsi szem is, azaz nemcsak itt élőként, hanem más nézőpontból is megfogalmazott, jellemzően egyéni szemlélet. Ezért

a tartalmi ismertetés – jobbára csak bővített tartalomjegyzék – helyett inkább erről a szemléletről írok. Hogy aztán ez megteszi-e tartalmi ismertetés helyett, azt természetesen Önök döntenek el.

Három kérdésben, ha vázlatosan is, szeretném bemutatni ezt a bizonyos szemléletet. Az egyik a civil társadalom, a másik a kollektív identitás, a harmadik pedig a republikánus szabadelvűség kérdése. Ez ugyan csak három fogalom, de a róluk alkotott véleménye, ahogy mondani szokták, mint cseppben a tenger, tükrözi a szerző gondolkodását.

Kende Péter a civil társadalom kérdéskörének immár több évtizedes elméleti és gyakorlati kálváriáját a mesebeli fehér bálnához hasonlítja. Nálunk is sok szó esik róla, mindenki keresi, hol látni vélik, hol a láthatáron túlra úszik. A sok beszédben azonban sok a hiba, aminek elemzéséből még leginkább a politikai közbeszédünk zavarosságára, iskolázatlanságára derül fény. A civil társadalom, az úgynevezett civil szféra a magánszféra és a közszféra köztése, vagy másként fogalmazva a magánember és az állam közötti politikai közvetítő rendszer. Ez a fogalom az ókori Rómában, majd a középkorban – ahogy Kende Péter írja – nemhogy nem különbözött, hanem azonos volt a „politikai társadalommal”. A XVIII. században, a felvilágosodás idején a civilség fogalma új elnevezéssel, polgári társadalom néven az abszolutista, rendies állammal összefüggésben és szemben merült fel, majd „másfél évszázadon át Csipkerózsika-álmát aludta”, és csak a szovjet birodalmiság árnyékában ébredt fel – így Magyarországon is –, mint a társadalmi önszerveződés kíváncsisága. Azóta beszélünk róla, s a sok beszéd hatására – jegyzi meg a szerző kissé ironikusan – a nyugati demokráciák elemzői meghökkenve észlelték, hogy bizony

ők is civil társadalomban élnek –, amit amúgy már észre se vettek, oly magától értetődőnek tekintették a felvilágosodás óta. De míg Európa nyugati felében civil társadalomként az állam politikai arcvonala mögött egy mélyen tagolt háttér van, addig a mi térségünkben a magánérdekek önszerveződésére történelmileg alig-alig volt lehetőség az elnyomó politikai erőszak miatt. De hiába nyíltak meg a rendszerváltással a demokratikus önszerveződés lehetőségei, s alakult sok tízezer civil szervezet, megmaradt a politikától való érzelmi iszonyódás, egyfajta generális politikaellenesség –, aminek következtében a civil szféra mint politikai közvetítőrendszer a fogalmaink zavarossága miatt irányvesztett és határozatlan. Ezt tapasztalni a civil szervezetek pártoktól való irtózásában is, azaz, hogy politikamentesen szeretnék politikai befolyást nyerni, és ilyen szerepet eljátszani. A szerző nem azt állítja, hogy egy társadalmi probléma megoldása a helyes elmélkedéstől függ, azt viszont igen, hogy, ha zavaros a politikafelfogásunk, ha tisztázatlanok a fogalmaink, akkor céljaink kitűzése és eszközválasztásunk is alighanem csak hányaveti és zavaros lesz. És tapasztalhatjuk, hogy nem csupán a hétköznapi politizálásunk zavaros – mert az olyan amilyen – hanem benne a politikai elemzők, de főként a közbeszédben mintaadó politikusok szövegelése is lesújtóan differenciálatlan.

Talán még eklatánsabban mutatkozik ez meg a kollektív identitást, az úgynevezett identitáspolitikát illető zagya beszédnél, amire második példaként hívnám fel a figyelmet. Kende Péter gyanakvással tekint az identitásfogalom unos-untalan hangoztatására, mert ebben az azonosság és a kapcsolódás jelentése keveredik –, és okoz hibás politikai célkitűzéseket. Véleménye szerint az ember legfel-

jobb saját magával lehet azonos, kapcsolódni viszont számos társadalmi irányba kapcsolódhat. Az, hogy a személyiségléktan tudományos és elemző identitásfogalma politikai jelszóvá s adott esetekben intézményes és sajna legtöbb esetben etnikai alapú identitás-politikai fegyverre lett, sok bajt hoz a fejünk-re. Az identitáspolitika ugyanis – már az előíró jellegével kifejtett morális nyomásával is – záródó, számos esetben pedig kényszerközösségeket szül, amelyek erősen korlátozzák az egyén szabadságát. A politikai erőcsoportok által folytatott identitáspolitikák ugyanis sokszor arra futnak ki, hogy például meghatározzák, ki a jó székely, ki a jó román, ki a jó magyar, ki a jó zsidó stb. Erre pedig Kende Péter válasza az, hogy „Én se jó zsidó, se jó magyar nem tudok lenni (de nem is akarok).” A módfelett elterjedt mértékben tapasztalható kollektív identitás-obszesszió – mondhatjuk – támadás lett a társadalom mint integrált, köztársasági elvű állampolgári közösség ellen és persze egy alkotmányos patriotizmusra épülhető európai közösségiesedés ellen is.

A szerző kollektív identitással kapcsolatos szemlélete konstruktívan bontakozik ki a magyar–zsidó konfliktushalmazt illetően is. Álláspontja szerint a zsidóság Magyarországon elgondolt és egykoron felületében kölcsönösen gyakorolt asszimilációja nem sikerült, és nem is kívánatos, hogy beolvadás-feloldódás formájában ez sikerüljön. Ő a beolvadás helyett „tendenciális egységesülésről” szól. És ez nem csupán csak egyszerű kíváncsi, mert – ahogy hangsúlyozza – már a XX. századi magyarországi történelem se írható le ennek a kölcsönös és pozitív egymásra hatásnak a figyelembe vétele nélkül. Ebből az alapállásból következik az is, hogy Kende Péter magyarságra és zsidóságra vonatkozó értekező esszéi nem az antiszemitizmus jelen-

ségére súlyoznak, nem a vérszomszaggal kapcsolatos és a kölcsönös indulatokat kiváltó felelősség méricskélésével foglalkoznak elsőrendűen, hanem azzal a „tendenciális összeolvadással”, amelyet mindkét részről támogatandónak tart. Kétségtelen persze, hogy az egységesülés felé lépő kulturális és politikai eredmények kölcsönös erőfeszítéseket igényelnek, ami praktikusán azt is jelenti, vagy jelentené, hogy láthatóvá kell tenni, hogy mi hordozza egyik és másik részről is e tendenciákat, és azt is, hogy kik. Joggal rója fel a szerző, hogy kulturálisan vagy közéletileg jelentős személyek esetében lexikonjainkból és kézikönyveinkből hiányzik, ki milyen származású, pedig ez hozzájárulhatna ahhoz, hogy a kölcsönös közeledés-közelítés tudhatóbb legyen. De elég talán a Gerő András Romsics Ignác elleni szerencsétlen kezdeményezésű és hatású támadására emlékezni, ahol még az is Romsics Ignác bűnlajstromának egyik tételévé lett, hogy nagy történéseink esetében egy írásában feljegyezte a kinek-kinek egyéni szocializációjára alighanem hatással levő katolikus, kalvinista vagy zsidó kultúrába való beleszületését, ami szűkebb-tágabb körben valamikor köztudott volt. Az ilyesmi Kende Péter második, fogadott hazájában, amelyhez épp oly erővel kapcsolódik – vállal identitást, ha úgy tetszik –, mint a magyarhoz, ennek a nyilvános ismerete a dolgok természetéhez tartozik. Az persze, hogy egy ilyen eljárás csökkenti vagy növeli-e a csoportos előítéleteket, eleve el nem dönthető – de az áradó identitásdivat idején aligha elkerülhető. A politikai prédikációval és morális nehezítésekkel teltett (és ami azzal jár: a mások kirekesztésével átitatott) identitáspolitikák ellenében jobb lenne tudomásul venni, hogy minden lényeges viszonylatunkban pluralitásra vagyunk ítélve.

Harmadikként pedig a Kende Péter munkásságára oly jellemző motívumot, a republikánus szabadelvűségről írottakat szeretném kiemelni mint olyan összefüggést, amely életműve egészét átítatja. A republikánus szabadelvűség első pillantásra persze önellentmondásos szöveggé válik, hiszen a közösséglvű köztársaságiasság felületében ellentétes az egyéni szabadságot igénylő és individualizmusra hajló szabadelvűséggel. A republikanizmus és a szabadelvűség szép csendű szavak ugyan (noha a szabadelvűség szinonimájáról, a liberalizmusról ez most éppen nem mondható), de ha valaki nem csak ismételgeti a köztársaság szót, hanem bele is gondol, hamar feltárul, hogy jelentésében az egyéni szabadság csak másodlagos. A történelmileg alakult republikanizmus eszméjében a köztársaság üdve az elsődleges, és a köztársaságisági erény az egyéni érdek háttérbe szorítását jelenti a közösség oltárán; ez a szó jelentése, a gyakorlatban pedig a politikai érvényesülése. Ehhez képest a modernkori liberalizmus az egyén érdekérvényesítő törekvéseit és kényszernek érzett közösségeiből való kilépését társadalmi mértékben konstruktívnak, felszabadulásnak, értékesnek és kívánatosnak tételezi. Ezen a formális szembeálláson nincs mit tagadni, és az elvek fundamentálistá értelmezői szeretnek is ezen nyargalni. De nem kötelező doktrinernek lenni.

Ahogy a szabadság és egyenlőség doktrínér felfogásában az egyik csak a másik rovására érvényesülhet (ha nő a szabadság, csökken az egyenlőség és fordítva), a nem doktriner gyakorlatban épp az szokott bebizonyosodni, hogy minden belső kollíziójukkal egyetemben a szabadság és egyenlőség csak valamilyen mértékű, de együttes meglétük által érvényesülhetnek (ha nincs szabadság, nincs egyenlőség se, és fordítva is így van). Kende Péter pedig minden lehető vonatkozásban a doktrínéség vitatója. És épp ez mutatkozik meg a republikánus szabadelvűség bemutatásában, avagy a „szabadságlvű demokrácia” értelmezésében. Ez a termékeny ellentmondások által is mozgósított gondolatiság jelenti eszmefuttatásainak belső dinamikáját. És persze a mértéktartás és a méltányosság, amikor (nem egy alkalommal) szabadelvű barátait kénytelen óvni a „túl-liberalizmustól”.

Talán e három fogalom bemutatása elég ahhoz, hogy sejtse Kende Péter intellektuális stílusát. Amit viszont nem tudok bemutatni, az a karteziánus világosságú gondolatformálás – ahhoz az olvasónak kézbe kell vennie Kende Péter írásait.

Köszönöm az „ismertetőre” való felkérését és üdvözlöm. (*Kende Péter: Magyarság, zsidóság, emberiség. Budapest: Pesti Kalligram Kft., 2015, 480 p.*)

Gombár Csaba

CONTENTS

International Year of Light

Guest Editors: Norbert Kroó, László Szabados

Norbert Kroó: Introduction.....	1154
György Gyürky: Stars, the Light Sources of the Universe	1155
László L. Kiss: Astronomical Imaging with Optical Interferometry	1162
Péter Kozma – Milán Janosov – Péter Petrik: Optical Biosensing	1171
Attila Krasznahorkay: Nuclear Physics with Light.....	1180
Péter Dombi – Mária Csete: Ultrafast Interaction of Light and Nanosystems	1191
Zoltán György Horváth: What Makes a Laser to Be a Laser?	1198
Attila Csáji: Leonardian Dream. Temptation of Entirety in Light Art	1209
Gyula Honyek: Light Patches in Physics Lessons	1219

Study

László Kordos: Rudapithecus hungaricus: Fifty Years of a Hungarian National Treasure ...	1226
Gábor Hamza: Kálmán Széll, Member of the Board of Directors of the Hungarian Academy of Sciences, Passed away a Hundred Years Ago, on 16th August 1915	1236
Nikoletta Kovács: A Possible Way for Enhancing Domestic Competitiveness—It's Easier Together	1242
István Csernicskó: Chances for (Linguistic) Peace in the Ukraine (June 2015).....	1253

Academy Affairs

Awards	1261
--------------	------

Obituary

György Poszler (<i>László Percz</i>)	1265
--	------

<i>Outlook (Júlia Gimes)</i>	1268
------------------------------------	------

<i>Book Review (Júlia Sipos)</i>	1272
--	------

Ajánlás a szerzőknek

1. A Magyar Tudomány elsősorban a tudományterületek közötti kommunikációt szeretné elősegíteni, ezért főleg olyan dolgozatokat közöl, amelyek a tudomány egészét érintik, vagy érthetően mutatják be az egyes tudományterületeket. Lapunk nem szakfolyóirat, ezért a szerzőktől közérthető, egy-egy tudományterület szaknyelvét mellőző cikkeket várunk.

2. A terjedelem ne haladja meg a 30 000 leütést (szóközökkel együtt), ha a tanulmány ábrákat, táblázatokat is tartalmaz, kérjük, arányosan csökkentse a szöveg mennyiségét. Beszámoló, recenzio terjedelme ne haladja meg a 7–8000 leütést. A kéziratot.doc vagy .rtf formátumban, e-mailen vagy CD-n kérjük a szerkesztőségbe beküldeni.

3. Másodközlésre csak indokolt esetben, előzetes egyeztetés után fogadunk el dolgozatokat.

4. Kérünk a cikkhez 4–6 magyar kulcsszót és az írás angol címét, valamint a szerző nevét, tudományos fokozatát, munkahelye pontos nevét, s ha közölni kívánja, e-mail címét. Külön kérjük azt a levelezési és e-mail címet, telefonszámot, ahol a szerkesztők a szerzőt általában elérhetik.

5. Kérjük, hogy a cikkben mindig jelölje az idézetek forrásait.

6. Idegen nyelvű idézetek esetében kérjük azok lábjegyzetben vagy zárójelben való fordítását is.

7. Kérjük, az irodalomjegyzékben adják meg az idézett cikkek DOI (Digital Object Identifier) kódját, s ha a cikkhez, könyvhöz ismernek szabad, ingyenes elérést, akkor azt is.

8. A szövegben emlegetett, hivatkozott személyek vagy intézmények teljes nevét kérjük kiírni azok első előfordulásakor.

9. Kérjük, az idegen nyelvű ábrák szövegét fordítsák le, vagy mellékeljenek egy szölistát.

10. Ha a szerző nem saját illusztrációit használja, akkor fel kell tüntetni azok forrását. A szerző dolga, hogy kiderítse a copyright tulajdonosát, és amennyiben nem szabad felhasználású, engedélyt szerezzen a közléshez.

11. Szövegtörzsi kiemelésként *dőlt*, vagy *félkövér* formázást alkalmazunk; ritkítást, VERZÁLT,

KISKAPÍTÁLIST és aláhúzást nem. A jegyzeteket lábjegyzetként kérjük megadni.

12. Az ábrák érkezhetnek papíron, lemezen vagy e-mail útján, bármilyen vektoros vagy pixeles formátumban; utóbbi esetben jól olvasható, finom felbontásban és min. 10×10 cm-s tényleges méretben. Kérjük, hogy ne a Word-dokumentumba ágyazottan, hanem külön küldjék őket. Készítésüknél vegyék figyelembe, hogy lapunk **nem** színes, és a tükörméret 125 mm. A szövegben tüntessék fel az ábrák kívánatos helyét.

13. A hivatkozásokat mindig a közlemény végén közöljük, a lábjegyzetekben legfeljebb utalások lehetnek az irodalomjegyzékre. Irodalmi hivatkozások a szövegben: (szerző, megjelenés éve) pl. (Balogh, 1957). Ha azonos szerző(k)től ugyanazon évben több tanulmányra hivatkoznak, akkor a közleményeket az évszám után írt a, b, c jelekkel kérjük megkülönböztetni mind a szövegben, mind az irodalomjegyzékben. Kérjük: csak olyan és annyi hivatkozást írjanak, amilyen és amennyi elősegíti a megértést. Számuk ne haladja meg a 10–15-öt.

14. Az irodalomjegyzéket ábécé-sorrendben kérjük. A tételek formája a következő legyen:

- Folyóiratcikkek: Feuer, Michael J. – Towne, L. – Shavel, R. J. et al. (2002): Scientific Culture. *The Educational Researcher*. 31, 8, 4–14.

- Könyvek: Rokkan, Stein – Urwin, D. W. – Smith, J. (eds.) (1982): *The Politics Identity*. Sage, London

- Tanulmánygyűjtemények: Halász Gábor – Kovács Katalin (2002): Az OECD tevékenysége az oktatás területén. In: Bábosik István – Kárpáthi Andrea (szerk.): *Összehasonlító pedagógia*. Books in Print, Budapest

15. Ha internetes írásra hivatkozik a szerző, ennek formája a szövegben (URL₁), (URL₂) stb., az irodalomjegyzékben URL: Magyar Nemzeti Bibliográfia <http://mn.b.hu/>

16. A Magyar Tudomány kefelevonatokat nem küld, de elfogadás előtt minden szerzőnek elküldi egyeztetésre közleménye szerkesztett példányát.